

# RÉSUMÉS DES PRODUCTIONS SCIENTIFIQUES ÉDITION 2022

- 
1. Publications nationales  
p. 3
  2. Publications internationales  
p. 37
  3. Ouvrages collectifs  
p. 81
-

1.

---

# **Publications nationales**

## Publiées en 2021

---

Techniques Sciences et Méthodes – spécial COVID, pages 43-53

### **Comportement de l'ARN du SARS-CoV-2 au sein des filières de traitement eaux et boues du site Seine Valenton – Siaap-Sival**

O. MONTIER, M. LOPEZ-VIVEROS, X. LE TALLEC, F. BELHADJ-KAABI, A. LAZUKA, S. LACROIX, M. TOURNIÉ, E. SOYEUX, S. AZIMI, V. ROCHER

Cet article présente l'évolution de l'ARN du SARS-CoV-2 dans les filières de traitement des eaux et des boues du site Seine Valenton – Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne (Siaap) - Sival. Cet article vise à contribuer à l'amélioration de la connaissance sur le devenir, dans les usines de traitement des eaux usées, du matériel génétique du virus responsable de la pandémie de Covid-19. À partir d'échantillons d'eaux et de boues prélevés à différentes étapes de traitement de la station d'épuration de Valenton, les gènes N1 et N2 du virus ont été mesurés par RT-qPCR après extraction de l'ARN et les bactériophages ARN F-spécifiques ont été dénombrés. Les résultats confirment qu'il y a une relation entre la quantité de SARS-CoV-2 dans les eaux usées et la dynamique de l'épidémie. Les résultats indiquent également que la filière de traitement d'une usine d'épuration assurant un traitement complet de l'azote permet un abattement d'environ 2,5 à 3 log pour les gènes N1 et N2 du SARS-CoV-2. Le matériel génétique est logiquement retrouvé dans les boues fraîches, avec des niveaux d'ARN qui suivent les dynamiques observées dans les eaux brutes. Les étapes de traitement des boues montrent également une efficacité pour réduire les niveaux de concentration de l'ARN du SARS-CoV-2, notamment au niveau du séchage thermique. En conclusion, cette étude montre que les niveaux de concentration du matériel génétique du SARS-CoV-2 sont inférieurs aux limites de quantification au rejet de la station d'épuration et qu'ils sont soit faibles, soit inférieurs aux limites de quantification pour les boues séchées.

## Publiées en 2020

---

Techniques Sciences et Méthodes – n° 12, pages 75-96

### **Évaluation du comportement des organismes pathogènes au sein des filières de traitement des eaux usées – Cas de l'agglomération parisienne dans le contexte de la réutilisation des eaux traitées**

R. MAILLER, P. MÈCHE, S. AZIMI, V. ROCHER

L'évolution des pathogènes visés par la réglementation sur la réutilisation des eaux usées traitées a été étudiée entre 2014 et 2018 sur les différentes stations de traitement des eaux usées (STEU) parisiennes. Ce bilan a permis de montrer que des abattements de 3 log environ en *Escherichia coli* et entérocoques intestinaux, et 1 à 2 log en spores de bactéries sulfito-réductrices (SSR) et bactériophages ARN-F, sont réalisés par les filières basées sur une décantation lamellaire et un traitement biologique par biofiltration ou boues activées en aération prolongée. La filière de Seine Morée (SEM) basée sur un bioréacteur à membranes (BRM), et par extension une partie du traitement biologique de Seine aval (SAV, 300 000 m<sup>3</sup> /j), basée sur cette filière, permet même une réduction de 4,5-5,5 log en bactéries fécales et 3 à 4 log en SSR et phages ARN-F. Ces niveaux de performance permettent d'envisager une réutilisation directe des eaux traitées de SEM et de la nouvelle filière BRM de SAV, mais pas les autres STEU, du fait d'abattements trop limités en SSR et bactériophages ARN-F. L'application de traitements tertiaires visant l'élimination des micropolluants (ozone ou charbon) ou des bactéries fécales (acide performique, PFA) améliorerait sensiblement la qualité, mais la limitation par ces deux paramètres serait toujours présente pour l'atteinte des plus hauts niveaux de qualité (A et B). L'étude plus fine du comportement de ces derniers montre en effet que de faibles teneurs en bactériophages ARN-F dès l'eau brute à SAV, Seine Valenton (SEV), Seine Grésillons (SEG) et Seine centre (SEC) rendent techniquement impossible

l'atteinte d'un abattement de 2 log, ce qui n'est pas le cas pour SSR pour qui la mise en place de conditions de désinfection spécifiques est nécessaire. Une précision technique de la réglementation semble nécessaire dans l'optique d'encourager la réutilisation des eaux usées traitées en France.

Matériaux & Techniques – Volume 108 – Numéro 3

### **Détérioration des matériaux cimentaires dans les ouvrages de nitrification des stations d'épuration**

J. LEWI, M. GUEGUEN MINERBE, R. MAILLER, M. PEYRE LAVIGNE, I. NOUR, P. MECHE, S. AZIMI, V. ROCHER, T. CHAUSSADENT

En assainissement, la nitrification est une étape de traitement biologique qui permet, par l'intermédiaire de bactéries nitrifiantes, de transformer les ions ammonium en ions nitrate. Les ouvrages dans lesquels se déroule la nitrification sont construits avec des matériaux cimentaires qui subissent des dégradations de plus en plus visibles ces dernières années. Dans la littérature, il n'existe qu'une seule étude réalisée par une équipe suisse qui s'est intéressée à la détérioration du béton dans les ouvrages de nitrification. Il est reporté dans ces travaux que les dégradations observées sur les ouvrages ont une origine biologique et résultent de l'acidité générée par l'activité biologique nitrifiante à l'interface paroi en béton/biofilm. Néanmoins, d'autres paramètres qui ne sont pas pris en compte peuvent être responsables de la dégradation du béton, ce qui signifie qu'une étude plus détaillée des mécanismes de dégradation est nécessaire pour bien qualifier et quantifier les dégradations dans les ouvrages de traitement biologique. En effet, les dégradations peuvent avoir une origine chimique, une origine mécanique ou une origine biologique. Cet article bibliographique a ainsi pour objectif de décrire et d'analyser les différents paramètres chimiques, biologiques et mécaniques susceptibles d'avoir une influence sur la dégradation du béton dans les ouvrages de nitrification.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 10, pages 45-50

### **Devenir des structures en béton en présence d'H<sub>2</sub>S – Vers une évolution des classes d'exposition**

M. GUÉGUEN MINERBE, I. NOUR, T. CHAUSSADENT

Le changement climatique et les modifications de pratiques induisent une augmentation de la teneur en hydrogène sulfuré dans les réseaux d'assainissement. Outre l'aspect sanitaire, l'H<sub>2</sub>S peut être responsable de la dégradation des canalisations et/ou infrastructures en béton, en particulier lorsqu'il est oxydé par des micro-organismes sulfo-oxydants avec formation d'acide sulfurique. Cet acide réagit avec les composés alcalins du béton et notamment avec l'hydroxyde de calcium pour former du gypse, composé expansif. Dans ces conditions et en fonction de la teneur en H<sub>2</sub>S, des dégradations importantes sont observées qui peuvent quelquefois conduire à l'effondrement du béton dans la partie aérienne. Des recommandations sur le choix des ciments sont proposées pour ces environnements, mais ne donnent pas entière satisfaction compte tenu du manque de données sur le comportement des matériaux cimentaires en fonction de la teneur en H<sub>2</sub>S. Dans cette étude, trois mortiers formulés avec des ciments différents ont été exposés sur six sites différents en France afin d'essayer de mieux définir les classes d'exposition définies dans le fascicule FD P18-011 relatif aux environnements contenant de l'H<sub>2</sub>S. L'utilisation de teneur moyenne en H<sub>2</sub>S ne semble pas la donnée la plus judicieuse pour classer les environnements, l'utilisation du 3<sup>e</sup> quartile apparaît comme un paramètre plus approprié. Il est ainsi possible de former trois classes : la classe 1, le 3<sup>e</sup> quartile est inférieur à 8 ppm; la classe 2, le 3<sup>e</sup> quartile est compris entre 8 et 15 ppm; et la classe 3, le 3<sup>e</sup> quartile est supérieur à 15 ppm.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 9, pages 71-82

### **Conception de réacteurs et compteurs de gaz innovants pour la méthanisation en voie sèche à l'échelle laboratoire**

A. COUTU, L. ANDRÉ, S. MOTTELET, S. AZIMI, S. GUÉRIN, V. ROCHER, A. PAUSS, T. RIBEIRO

Le but de cette étude est de concevoir et de valider un ensemble de réacteurs et de compteurs de gaz permettant d'étudier la méthanisation en voie sèche à l'échelle laboratoire. L'intérêt de cet ensemble est de permettre la mise en œuvre d'essais sur des substrats solides complexes, tels que des fumiers pailleux, tontes d'herbe et biodéchets, avec des quantités mises en jeu significatives, tout en préservant la structure et les caractéristiques physiques des substrats à étudier (pas de prétraitements préalables tels que broyage ou séchage). Il permet également d'agir sur les paramètres physiques clés, tel que la composition en substrats, l'immersion du massif et la recir-

culution de l'inoculum. Sa conception permet de réaliser deux types d'expériences : un suivi de production de méthane et une expérience de traçage au sein du massif solide. Le suivi de la production de méthane peut s'effectuer pour une composition en substrats donnée, pour laquelle l'immersion et les contraintes de recirculation sont déterminées. Cela permet des expériences d'optimisation de ces paramètres, notamment par les méthodes fournies par les plans d'expériences. Le traçage permettra quant à lui de déterminer le temps de séjour de la phase liquide au sein du massif solide. La création de cet ensemble a suivi un processus de conception classique : génération d'idées, sélection du produit, développement du produit puis tests et comparaison à la littérature. Les deux premières étapes de création ont été effectuées par une veille bibliographique, puis par conception assistée par ordinateur à l'aide de l'outil AutoCAD 2020. L'ensemble ainsi créé a ensuite été construit en deux prototypes successifs afin de perfectionner sa mise en œuvre. Le modèle final a enfin été mis en œuvre en conditions réelles de méthanisation en voie sèche afin de valider son fonctionnement et de comparer les résultats obtenus à la littérature.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 5, pages 47-57

### **Limitation du colmatage dans un bioréacteur à membranes à l'échelle semi-industrielle : modélisation et caractérisation de l'hydrodynamique**

E. SUARD, Y. FAYOLLE, R. CLÉMENT, V. ROCHER, M. ALLIET, C. ALBASI, S. GILLOT

Les bioréacteurs à membranes se sont largement développés ces dernières années en assainissement des eaux résiduaires urbaines. Malgré les avantages du procédé, le colmatage des membranes engendre des contraintes économiques liées aux coûts énergétiques et au remplacement prématuré des membranes. Différentes stratégies de limitation du colmatage sont mises en place, dont l'aération séquentielle des membranes à l'aide de grosses bulles. Cependant, les mécanismes d'action de cette aération et l'hydrodynamique des réacteurs restent relativement méconnus, en particulier à l'échelle industrielle et en présence de boues. Un pilote semi-industriel de filtration membranaire a été conçu et installé sur l'unité de traitement des jus de Seine aval. Ce pilote a permis d'étudier l'impact de l'aération sur les performances de filtration en couplant une analyse statistique (systèmes d'inférence floue) et une caractérisation de l'hydrodynamique du réacteur (tomographie de résistivité électrique). Des chemins préférentiels de passage des bulles ont été observés à faible débit d'air et forte concentration en matières en suspension à l'aide de la tomographie de résistivité électrique. Ces observations fournissent des éléments d'explication aux résultats de l'arbre de décision flou focalisé sur l'analyse de l'impact du débit d'air sur la dérive journalière de perméabilité. La concentration en matières en suspension des boues et la différence de demande chimique en oxygène entre le surnageant des boues et le perméat s'avèrent être les facteurs les plus impactants pour les conditions opératoires testées. Ils traduisent l'efficacité de l'aération, que ce soit en matière de répartition du champ de bulles et/ou de relargage d'éléments colmatants. Ces résultats invitent à considérer la régulation de l'aération en fonction des propriétés des boues dans les procédés industriels.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 6 – pages 23-32

### **Mesure en ligne des concentrations d'ions nitrites et nitrates pour l'optimisation de la dénitrification et la réduction de la production en protoxyde d'azote**

S. MOTTELET, A. FILALI, S. GUÉRIN-RECHDAOUI, V. ROCHER, S. AZIMI, A. PAUSS

Cette étude vise à évaluer la capacité d'une sonde à rayons ultraviolets (UV) à estimer simultanément les teneurs en nitrate et nitrite en sortie d'une unité de biofiltration en postdénitrification. L'estimation de ces deux espèces est compliquée du fait de la très grande similitude de leur spectre UV et de la présence d'autres molécules absorbantes dans l'UV. Celle-ci est pourtant indispensable au développement d'algorithmes de contrôle, seuls à même de garantir un résiduel en nitrite et nitrate conforme aux exigences de la directive cadre sur l'eau. La sonde WTW Nitra Vis 705 IQ NI a été calibrée puis validée en laboratoire sur un effluent réel dans une gamme de 0 à 3,5 mg N/L en nitrite. Elle a ensuite été installée en sortie d'une unité de biofiltration de la station de Seine centre afin d'évaluer sa capacité à prédire les dynamiques de concentrations en nitrites et nitrates. Le suivi a montré que, moyennant une calibration multipoint pour le nitrite et multilinéaire pour le nitrate, il est possible de mesurer simultanément et dynamiquement le nitrite dans la gamme 0-5 mg N/L avec une précision de 0,2 mg N/L et le nitrate dans la gamme 0-10 mg N/L avec une précision de 0,3 à 0,4 mg N/L. Les mesures en ligne de protoxyde d'azote dissous, effectuées sur site au moyen de sondes ampérométriques, montrent que la dynamique est similaire à celle du nitrite en fonction du ratio DBO/N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> appliqué, et que l'on obtient une meilleure corrélation du protoxyde d'azote avec le nitrite (R<sup>2</sup> = 0,72) comparativement à la somme nitrite + nitrate (R<sup>2</sup> = 0,52).

Techniques Sciences et Méthodes – n° 12, pages 175-194

### **Caractérisation du potentiel toxique des eaux urbaines par bioessais – Cas de l'agglomération parisienne**

R. MOILLERON, C. MORIN, L. PAULIC, A. MARCONI, V. ROCHER, R. MAILLER, A. BRESSY, L. GARRIGUE-ANTAR

Dans un cadre réglementaire, la qualité d'une eau est souvent évaluée en comparant des concentrations de substances individuelles à des seuils tels que les normes de qualité environnementale. Cette approche, bien que robuste, présente certaines limites. La seule information sur la présence de contaminants ne suffit pas à quantifier l'impact ou le potentiel toxique de ces eaux ; l'information reste « individuelle » à l'échelle de substances, pour lesquelles suffisamment de données écotoxicologiques existent, sans permettre d'évaluer l'effet cocktail qui pourrait en résulter. Les bioessais sont des méthodes globales et intégrées qui fournissent des informations sur le potentiel toxique de l'échantillon considéré, voire sur la toxicité spécifique de certains groupes de substances. Notre démarche a donc consisté à suivre le potentiel toxique de différents échantillons d'eaux urbaines (effluent hospitalier, eaux usées à l'exutoire de deux sous-bassins de la ville de Paris, eaux usées en entrée de station d'épuration et eau épurée, déversoirs d'orage) en utilisant trois panels : toxicité générale (huit bioessais sur algues, bactéries, champignons et cellules humaines), génotoxicité (trois bioessais sur bactéries et cellules humaines), perturbation endocrinienne (six bioessais sur cellules humaines). Les résultats montrent que les déversoirs d'orage apportent un excès de toxicité au milieu récepteur. Sur l'ensemble des émissaires, toutes les dimensions de la toxicité ont, à un moment ou un autre, été observées. La comparaison entre entrée et sortie de station d'épuration semblerait indiquer que l'abattement des paramètres physicochimiques ne se retrouve pas pour les indicateurs de la toxicité. Cependant, des études complémentaires sur ce type d'échantillons sont nécessaires pour confirmer ou non cette première tendance.

Eau, Industrie, Nuisances – n° 424, pages 65-75

### **Fonctionnement dégradé de la station d'épuration Seine aval (Yvelines) du 3 au 5 juillet 2019 suite à l'incendie de l'unité de clarifloculation – Analyse de l'impact environnemental de l'événement sur la Seine**

S. GUERIN, R. RICHOUX, E. GARCIA-GONZALEZ, S. AZIMI, V. ROCHER, J.-P. LEMOINE, C. FISSON, F. PETIT, J.-M. MOUCHEL

Le mercredi 3 juillet 2019 vers 16 h 45, un incendie s'est déclaré sur l'unité de clarifloculation de la station d'épuration de Seine aval du SIAAP (Yvelines). Les performances de traitement ont été temporairement dégradées pendant 3 jours ; impliquant un apport important de flux de matière organique et de nutriments dans le milieu naturel. Ces apports ont conduit à une désoxygénation forte de la Seine jusqu'à 30 km à l'aval de la station, avec une mortalité piscicole estimée à 7,5 tonnes (poissons, algues et déchets) sur ce bief de la Seine. Les réseaux de suivi de la qualité de la Seine ont été immédiatement mobilisés pour suivre l'impact de l'incident sur la qualité du milieu naturel. La mobilisation des équipes du SIAAP, de Sorbonne Université (PIREN - Seine), de Normandie Université et du GIP-Seine aval, a permis de mettre en place un suivi environnemental, allant de Conflans-Sainte-Honorine à Tancarville, soit 280 km de linéaire de Seine suivis. Cet article discute de l'impact de l'incident sur le milieu naturel et de son atténuation lors du transit de l'eau sur le bassin versant Seine Normandie, à l'aval de l'agglomération parisienne.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 7-8, pages 67-80

### **Micropolluants dans les eaux usées : qu'apporte un traitement avancé par adsorption sur charbon actif après un traitement conventionnel ?**

R. GUILLOSSOU, J. LE ROUX, R. MAILLER, E. VULLIET, C. MORLAY, F. NAULEAU, J. GASPERI, V. ROCHER

Plusieurs traitements avancés tels que l'adsorption sur charbon actif ou l'ozonation sont proposés pour le traitement des micropolluants (MP) au sein des stations de traitement des eaux usées (STEU). Cependant, peu d'informations existent sur les performances des STEU équipées de tels procédés et les bénéfices apportés au regard de l'élimination de multiples familles de MP. Dans cette étude, cinq campagnes d'échantillonnage ont été réalisées pour déterminer l'abattement de

48 MP (principalement des pesticides et des résidus pharmaceutiques) sur une STEU équipée d'un traitement avancé par adsorption sur charbon actif en micrograin en lit fluidisé avec un taux de traitement de 10 g/m<sup>3</sup>. Le traitement primaire n'a pas affecté la majorité des MP (abattement < 20 %), tandis que le traitement biologique a éliminé les molécules sorbées sur les boues ou biodégradées (> 60 %). Sans traitement avancé, la STEU étudiée ne permet pas de respecter la législation suisse sur les Mp, avec des abattements nettement inférieurs aux 80 % demandés (< 50 %) pour cinq substances indicatrices. Si l'élimination propre au traitement avancé n'a pas été significative (< 10 %) pour les MP déjà bien traités sur la STEU, l'adsorption sur charbon actif permet de diminuer de manière significative leur concentration (ex. : diminution d'un facteur 100 pour l'ibuprofène) et ainsi de limiter l'impact de la STEU sur le milieu récepteur. L'élimination propre au traitement avancé a été importante (30 à 60 %) pour les composés récalcitrants aux traitements conventionnels et permet d'atteindre des abattements globaux supérieurs à 60 % pour la majorité des MP. Une dose de charbon actif plus élevée serait nécessaire pour obtenir des abattements plus importants, notamment pour les MP utilisés en Suisse comme substances indicatrices. Cette étude a aussi permis de fournir les premières données sur le comportement de plusieurs molécules (acétamipride, estrone, glyphosate, imidaclopride, lorazépam et ofloxacine) le long d'une STEU équipée d'un traitement avancé.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 5, pages 75-88

### **Importance des émissions d'origine domestique dans les réseaux d'assainissement urbains : cas des alkylphénols, phtalate et parabènes dans l'agglomération parisienne**

R. MOILLERON, A. BERGÉ, S. DESHAYES, V. ROCHER, V. EUDES, A. BRESSY

La note technique ministérielle du 12 août 2016 explique les modalités de la recherche de micropolluants dans les eaux usées traitées et dans les eaux brutes des stations de traitement des eaux usées sur le territoire métropolitain. Cette note constitue une feuille de route pour les collectivités relevant de son application pour favoriser le développement de plans d'actions contribuant à la réduction des émissions de 96 micropolluants. Il s'agit de favoriser des actions de réduction à la source afin de limiter les flux arrivant aux stations de traitement des eaux usées. Un levier d'action qui semble naturel aux collectivités est le contrôle des émissions issues des industries présentes sur les bassins versants considérés. L'article s'intéresse à une autre source d'apport aux flux de polluants qui n'est pas nécessairement prise en compte : les eaux domestiques. Dans le cas de l'agglomération parisienne, densément urbanisée et faiblement industrialisée, nous avons montré que la contamination des eaux usées d'origine domestique est majoritaire par rapport à la contamination des eaux usées d'origine industrielle pour trois familles de micropolluants : les alkylphénols et les phtalates, relevant de la liste de la note technique, d'une part, et les parabènes, micropolluants émergents d'intérêt, d'autre part. Ensuite, l'étude de la qualité des eaux grises a permis d'identifier les eaux de douche et de lave-linge comme sources principales d'émission de ces trois familles de micropolluants dans les eaux usées domestiques et donc d'identifier des pistes de réduction. Enfin, la diminution des concentrations observées, entre 2010 et 2015, dans les principaux émissaires de l'agglomération parisienne, a permis de comprendre les déterminants de ces fluctuations (réglementations et/ou pratiques de consommation) afin d'imaginer d'autres leviers d'action pour les collectivités.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 3, pages 67-80

### **La crue de la Seine en juin 2016, incidences sur le fonctionnement du système d'assainissement du cœur de l'agglomération parisienne**

J.-P. TABUCHI, S. ABOULOUARD, J. BERNIER, B. BLANCHET, S. GUÉRIN, A. SAINT-GERMAIN, V. ROCHER

En juin 2016, le bassin de la Seine a connu une crue importante et inhabituelle à pareille époque de l'année. Cette crue a provoqué de nombreux dommages, notamment sur le bassin du Loing, mais aussi en région parisienne. Elle a aussi eu des répercussions importantes sur le fonctionnement de diverses infrastructures, notamment sur celles d'assainissement, sans pour autant leur causer de dommages majeurs. Le système d'assainissement de la zone centrale de l'Île-de-France, géré par différents maîtres d'ouvrage, dont le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) et ses membres constitutifs, les départements de Paris et de la petite couronne, a eu à faire face à des conditions exceptionnelles de fonctionnement durant près de 4 semaines. Une gestion coordonnée de cette infrastructure principale qui dessert 6,6 millions d'habitants de la petite couronne parisienne sur les 9 millions que compte la zone de collecte du syndicat a permis de faire face aux différents événements d'exploitation. Une des conséquences principales

de la crue sur le fonctionnement du système d'assainissement concerne les très fortes charges hydrauliques occasionnées par des intrusions très importantes d'eaux parasites de diverses origines. Les performances du système d'assainissement dans ces conditions se sont révélées satisfaisantes et les impacts sur la qualité de la Seine et de la Marne ont été limités. Les forts débits de ces cours d'eau y ont contribué, mais aussi le niveau de traitement qui a pu être maintenu durant la crue. La durée relativement limitée de la crue, la hauteur atteinte par la Seine, l'absence de pluies de fortes intensités ont aussi été autant d'éléments favorables pour la gestion du système d'assainissement.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 1/2, pages 15-25

### **Estimation des flux de plastiques transitant en Seine : quelles méthodes pour quels résultats ?**

R. TRAMOY, J. GASPERI, R. DRIS, L. COLASSE, C. FISSON, S. SANANES, V. ROCHER, B. TASSIN

Des estimations globales établissent des flux de plastiques entrant en mer entre 1 et 10 millions de tonnes chaque année. Mais elles sont associées à de grandes incertitudes liées à des difficultés méthodologiques pour quantifier les flux de plastiques du continent vers les océans. Travailler à l'échelle des bassins versants s'avère nécessaire afin de mieux calibrer ces approches globales. Dans cette étude, une approche de modélisation conceptuelle, basée sur l'approche statistique de JAMBECK et al., et une approche de terrain sont comparées avec pour objectif (i) de quantifier les flux de plastiques transitant en Seine et (ii) de préciser les incertitudes des deux approches et leur origine. Malgré la simplicité des approches statistiques et des techniques d'extrapolation utilisées, les deux méthodes donnent des résultats du même ordre de grandeur, c'est-à-dire entre 1 800 et 5 900 t/an de plastiques transitant en Seine. Les principaux acteurs de la gestion des déchets sauvages sur le fleuve ne collectent qu'environ 100 t/an de plastiques, soit une faible fraction du flux estimé. Dans le cadre de la directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM) de 2008, des actions sont mises en œuvre afin de quantifier les flux de plastique déversés en mer. Parmi les différentes méthodes, une meilleure exploitation des données issues des collectes des associations pourrait être une aubaine avec, par exemple, la création d'une base de données nationale et homogène répertoriant les opérations de collecte.

## **Publiées en 2018**

Techniques Sciences et Méthodes – n° 12, pages 51-66

### **La spectrométrie de masse haute résolution : un outil innovant de caractérisation des ouvrages d'assainissement**

A. BERGÉ, A. BULETÉ, A. FILDIER, J. GASPERI, R. MAILLER, V. ROCHER, E. VULLIER

La spectrométrie de masse haute résolution (HR-MS) est un outil utilisé depuis peu pour des analyses chimiques environnementales. Basée sur l'étude des signatures chimiques d'un échantillon et non pas sur l'analyse de certains composés ciblés, cette technique pourrait améliorer la caractérisation des effluents ainsi que la compréhension des processus mis en jeu pour l'élimination de contaminants organiques dans les ouvrages d'assainissement. En effet, elle ouvre l'accès à une quantité d'informations élevée, ce qui, après des traitements statistiques appropriés, permet de comparer des ouvrages, de mettre en évidence et d'identifier de « nouveaux » contaminants jusqu'alors non considérés. Cette étude propose l'utilisation de la HR-MS pour comparer des matrices issues de deux ouvrages d'assainissement (stations de Seine centre et Seine aval) via une approche globale. L'exploitation des données générées durant ce travail a permis d'évaluer la pertinence de l'utilisation de la HR-MS pour caractériser et comparer des ouvrages d'assainissement. L'analyse des empreintes chimiques a montré une similitude entre les boues en entrée de centrifugation et de digestion, ce qui tend à montrer une homogénéité de la qualité des boues produites dans les deux stations. Elle met également en évidence la présence de processus physicochimiques et/ou biologiques pendant la digestion qui modifient fortement la composition de la boue en sortie de process. L'identification de certains des composés montre que les plus discriminants appartiennent à différentes classes de surfactants, principalement des ammoniums quaternaires (tensioactifs cationiques) et des sulfonates d'alkylbenzène linéaires (LAS). Il serait

maintenant intéressant de combiner l'approche HR-MS avec les paramètres globaux communément utilisés pour caractériser la qualité des boues afin d'évaluer les processus mis en jeu. Il serait également nécessaire d'améliorer cette approche par le développement de nouveaux outils statistiques et l'implémentation des bases de données, afin de faire de l'approche HR-MS un outil de surveillance de la qualité des rejets.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 6, pages 45-58

### **Les résidus médicamenteux dans les eaux de Seine et les rejets de stations d'épuration : cas de l'agglomération parisienne anthropiques synthétiques et artificielles**

S. AZIMI, S. GUÉRIN-RECHDAOUI, E. GARCIA-GONZALEZ, P. CANDIDO, G. COUTURIER, M. JOYEUX, G. LAVISON, V. ROCHER

Les produits pharmaceutiques sont largement utilisés en médecine. Pas totalement métabolisés lors de l'ingestion et pas complètement éliminés par les stations d'épuration, une partie est alors rejetée vers les eaux de surface. Cet apport peut être d'autant plus important dès lors que les eaux de surface concernées traversent une zone sous forte pression anthropique. Les résultats présentés dans ce travail permettent de donner les niveaux de concentration de 41 substances pharmaceutiques (antibiotiques, anti-inflammatoires non stéroïdiens, antiépileptiques, hypolipémiants, bêta-bloquants, anti-dépresseurs, hormone) dans la Seine et dans les rejets des stations d'épuration de la région parisienne. Des campagnes de prélèvements ont été réalisées en 2011 puis en 2015 par le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) en collaboration avec Eau de Paris pour la partie analytique. Globalement, un groupe de huit molécules (carbamazépine, oxazépam, propranolol, sotalol, ofloxacine, acébutolol, diclofénac, aténolol) a été détecté avec des occurrences supérieures à 70%. Les résultats ne présentent pas de variabilité saisonnière et spatiale marquée sur le périmètre concerné par l'étude, mais il est intéressant de noter que la carbamazépine et le sotalol ont été retrouvés de manière très fréquente (occurrence > 90%) en 2011 et en 2015. Les concentrations mesurées dans les rejets des stations d'épuration sont, quant à elles, de l'ordre de 10 à 40 fois supérieures aux concentrations dans les eaux de Seine et la part rejetée par les stations d'épuration serait de l'ordre de 2% à 40% des flux transitant à l'aval de la zone d'influence du SIAAP.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 6, pages 33-43

### **Devenir des micropolluants au sein de la station d'épuration de Seine centre : étude simultanée des filières eau et boue**

S. DESHAYES, V. EUDES, C. DROGUET, J. GASPERI, R. MAILLER, V. ROCHER, R. MOILLERON

Diverses études ont montré l'importance des stations d'épuration dans l'abattement des micropolluants. Cependant, peu d'études permettent d'avoir à la fois une vision d'ensemble d'une station d'épuration (filière eau et filière boue) et l'évolution des polluants à chaque étape du traitement. Nos objectifs sont donc : i) d'évaluer la capacité d'élimination de certains micropolluants au sein d'une station d'épuration combinant la décantation physico-chimique lamellaire comme traitement primaire, la biofiltration comme traitement secondaire (nitrification totale et dénitrification) ; ii) de mesurer l'efficacité épuratoire de chaque ouvrage de traitement ; et iii) de quantifier les flux de micropolluants en différents points des filières eau et boue. Cinq molécules ont été suivies : deux alkylphénols (AP) et trois phtalates (PAE). À notre connaissance, cette étude est la première prenant en compte tous les traitements de la filière eau : du prétraitement au rejet, intégrant les trois étages de la biofiltration, mais aussi le traitement par centrifugation de la filière boue. Les travaux sur la station de Seine centre ont permis d'évaluer les abattements moyens des micropolluants à l'échelle de la station de traitement des eaux usées (STEU) (AP : 73 ± 6%, PAE : 96 ± 1%) et à l'échelle de chaque traitement (décantation : 35%, élimination du carbone : 72%, nitrification : 54% et dénitrification : 14% en moyenne pour l'ensemble des molécules étudiées). L'étude des boues a apporté des informations concernant les phénomènes mis en jeu lors de l'abattement des AP et des PAE dans la filière eau des STEU. En effet, en comparant les flux d'AP et de PAE trouvés dans les boues brutes (avant traitement par centrifugation) avec ceux abattus dans les eaux, il est apparu que le phtalate de di-(2-éthylhexyle) (DEHP) est principalement transféré dans les boues. À l'opposé, l'abattement du phtalate de diéthyle (DEP) peut être dû à une dégradation par les micro-organismes.

### **Microplastiques en Seine dans l'agglomération parisienne : étude des variations spatiales et temporelles des fibres anthropiques synthétiques et artificielles**

R. DRIS, J. GASPERI, V. ROCHER, B. TASSIN

Les fibres anthropiques sont abondamment présentes dans notre quotidien. Elles peuvent être naturelles, artificielles (cellulose régénérée) ou synthétiques (formées de matériaux pétrochimiques). Leur omniprésence conduit inévitablement à une contamination élevée dans l'environnement. Les études portant sur les microplastiques examinent toutes les particules de plastique de taille inférieure à 5 mm, quelle que soit leur forme. Cette étude a pour objectif de se concentrer exclusivement sur les fibres, sachant que ces dernières sont ubiquistes et représentent un risque d'ingestion plus élevé par les organismes. Elle vise ainsi à fournir des premières idées sur les concentrations, flux, variabilités et répartitions spatiales des fibres en rivière. Un filet à maillage de 80 µm est utilisé pour l'échantillonnage. Dans un premier temps, la variabilité temporelle à court terme des fibres en rivière a été déterminée. Lors d'un prélèvement d'une minute, un coefficient de variation de 45 % (n = 6) a été obtenu alors qu'il passe à seulement 26 % (n = 6) lors d'un prélèvement de 3 minutes. La répartition des fibres le long de la section de la rivière a aussi été identifiée et montre une possible différence des concentrations entre les berges et le centre. Cela étant, une absence de stratification verticale des concentrations a été observée. Un suivi mensuel des fibres a permis d'estimer une concentration moyenne de  $100,6 \pm 99,9$  fibres/m<sup>3</sup> dans la Marne, ainsi que des concentrations de  $48,5 \pm 98,5$ ,  $27,9 \pm 26,3$ ,  $27,9 \pm 40,3$  et  $22,1 \pm 25,3$  fibres/m<sup>3</sup>, sur quatre points de la Seine, en allant de l'amont vers l'aval. Des flux de fibres ont été estimés à partir de ces concentrations, mais aucun impact significatif de l'agglomération parisienne n'a pu être mis en évidence. La présence de puits encore non étudiés, tels que la sédimentation, est suspectée. À ce stade, seules des hypothèses peuvent être formulées pour expliquer nos observations, compte tenu de la faible compréhension des processus régissant les concentrations en fibres. Cette étude est la première à examiner les fibres à l'exclusion des autres types de microplastiques. Elle représente ainsi un premier pas vers une compréhension plus poussée du comportement de ce nouveau type de contaminant en milieu naturel.

### **L'innovation métrologique pour l'analyse réglementaire des eaux. Retour d'expérience sur la demande biochimique en oxygène à 5 jours (DBO<sub>5</sub>)**

M. MULLER, S. BELLATON, A. YORIS, S. GUÉRIN-RECHDAOUI, L. CLOUSIER, V. ROCHER

Cet article constitue un retour d'expérience sur un projet d'innovation dans le domaine de l'analyse réglementaire des eaux ; plus précisément, sur la demande biochimique en oxygène (DBO). De l'idée originale vers l'adoption du produit par les utilisateurs, sont mis en lumière les freins auxquels se confronte un tel projet, mais aussi les leviers permettant à celui-ci d'aboutir. L'analyse innovante dont il est question a été développée par la société AMS Envolure, en collaboration avec le service public de l'assainissement francilien (Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne – SIAAP). Le produit résultant est un kit prêt-à-l'emploi, au format microplaque, couplé à une détection par fluorescence de l'activité respiratoire bactérienne. Bien que reprenant les fondements biochimiques de la méthode standard, le concept de la méthode développée rompt fortement avec l'approche traditionnelle. Il en résulte, notamment, la possibilité d'obtenir un résultat en 2 jours seulement contre 5 jours avec la méthode classique (DBO<sub>5</sub>). Évaluées selon les normes en vigueur, les performances de la méthode apparaissent comparables à celles de la méthode normée NFEN1899-1 et compatibles avec les exigences réglementaires relatives à cette mesure. De plus, sur près de 400 échantillons d'eaux résiduaires urbaines, les valeurs de DBO<sub>5</sub> obtenues sont équivalentes à celles obtenues via la méthode classique. Néanmoins, l'utilisation en routine de cette nouvelle méthode par les laboratoires reste contrainte par la rigidité du cadre réglementaire. Ces obstacles réglementaires tendent à fragiliser la santé économique des petites et moyennes entreprises (PME) innovantes et peuvent significativement ralentir les progrès analytiques du domaine concerné. C'est pourquoi il apparaît essentiel de concéder, de manière contrôlée, une certaine flexibilité aux laboratoires quant au choix des méthodes d'analyse utilisées. Les pouvoirs publics français ont ainsi autorisé par arrêté dérogatoire, dans un cadre bien défini, la substitution de la méthode standard par la méthode innovante pour la mesure de la DBO<sub>5</sub> sur les stations d'épuration urbaine.

### **Suivi de la qualité des effluents en réseau d'assainissement unitaire (Paris et Pau – France) Estimation de la pollution carbonée, azotée et phosphorée à partir de mesures physiques**

S. GUÉRIN-RECHDAOUI, T. BERSINGER, G. BAREILLE, T. PIGOT, I. LE HÉCHO, S. AZIMI, V. ROCHER

Le suivi et l'utilisation des données « qualité » des effluents transitant dans les systèmes d'assainissement (réseaux d'assainissement et station d'épuration) sont nécessaires pour accroître le niveau de maîtrise et d'optimisation de leur exploitation. La direction de l'innovation et de l'environnement du Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) a engagé, avec ses partenaires scientifiques, des actions R&D visant à définir les modes de traitement des données permettant de traduire les données brutes en données utiles pour l'exploitant de réseau d'assainissement. Au sein de cet article sont proposées et discutées des lois mathématiques permettant de lier les mesures physiques facilement accessibles en réseau d'assainissement (turbidité, conductivité) aux paramètres de qualité des effluents : concentration en particules, concentration en matière organique (demande chimique en oxygène [DCO]), concentrations en ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et phosphore total (P<sub>tot</sub>). De manière synthétique, les résultats ont montré 1) que la turbidité permettait d'estimer relativement précisément des concentrations en particules et en DCO, 2) que la conductivité permettait d'estimer assez précisément les concentrations en azote ammoniacal et permettait d'avoir un ordre de grandeur de la concentration en phosphore total. Ces conclusions sont valables pour les deux bassins versants étudiés (Paris et Pau), mais les lois mathématiques liant les paramètres entre eux peuvent être sensiblement différentes. Outre le caractère site « dépendant », ce travail a également permis de montrer que certaines corrélations peuvent varier de manière significative dans le temps. Cela a notamment été montré pour la corrélation entre conductivité et azote pour le bassin versant parisien.

## **Publiées en 2017**

### **La gestion du vieillissement des membranes d'ultrafiltration dans les BRM en STEP – Une problématique complexe nécessitant le développement d'outils et d'indicateurs experts spécifiques**

R. MAILLER, S. PICHON, J. POUILLAUE, S. AZIMI, V. ROCHER, Y. FAYOLLE

Le vieillissement des membranes d'ultrafiltration utilisées dans les bioréacteurs à membranes est un enjeu stratégique pour les collectivités ou industriels du traitement des eaux. En effet, ces membranes, qui vieillissent par l'action combinée des contraintes mécaniques liées aux cycles de filtration et des réactifs chimiques utilisés pour le décolmatage, doivent être régulièrement remplacées induisant des coûts pouvant être importants. En eau usée, les connaissances actuelles sur le vieillissement des membranes restent par ailleurs limitées tout comme les retours d'expérience d'installations. Dans ce contexte, le SIAAP, via sa Direction de l'Innovation et de l'Environnement (anciennement Direction Développement Prospective), s'est dotée d'une plateforme de caractérisation des membranes. L'objectif est de suivre le vieillissement des membranes et de proposer des adaptations de l'exploitation pour limiter leur vieillissement. Cette plateforme est composée de différents outils experts permettant la caractérisation de l'état global, de la résistance mécanique, de la productivité, des propriétés chimiques et de l'efficacité des fibres membranaires. Deux applications principales peuvent être mises en œuvre avec cette plateforme. Premièrement, des diagnostics d'intégrité peuvent être réalisés sur des échantillons prélevés sur site, fournissant des éléments sur le niveau de vieillissement des membranes. À terme, ils permettront également d'estimer leur durée de vie. Un premier diagnostic a déjà été réalisé sur le traitement des jus de la station d'épuration de Seine aval (Achères, 1,7 million de mètres cubes traités quotidiennement) après 4 ans de fonctionnement. Deuxièmement, la réalisation de vieillissements chimiques accélérés en laboratoire apporte des éléments de compréhension sur les processus de vieillissement. Ces éléments doivent permettre à terme de proposer des ajustements dans les pratiques d'exploitation des membranes, notamment concernant les pratiques de lavage.



### Évaluation de l’empreinte en résidus pharmaceutiques et autres polluants émergents des rejets de STEP de l’agglomération parisienne

R. MAILLER, S. AZIMI, V. ROCHER, J. GASPERI, A. BULETE, E. VULLIET

Le service public de l’assainissement francilien (SIAAP), via sa Direction du Développement et Prospective, a mis en œuvre un projet de recherche (2013-2015) visant à étudier l’efficacité de différentes technologies de traitement tertiaire vis-à-vis des micropolluants émergents encore présents dans les rejets de station d’épuration (STEP) malgré le traitement dans les filières conventionnelles. Dans le cadre de ce projet, un suivi important de la présence de 78 micropolluants émergents a été réalisé dans les eaux rejetées à la Seine par l’agglomération parisienne en collaboration avec les équipes du Laboratoire Eau, Environnement et Systèmes Urbains (LEESU) et de l’Institut des Sciences Analytiques (ISA) de Villeurbanne. Les différentes campagnes de mesure, effectuées sur deux STEP du SIAAP contribuant à hauteur de 70 % aux débits rejetés à la Seine par l’agglomération parisienne, ont permis de dresser une cartographie riche et détaillée des micropolluants encore présents dans les rejets des filières conventionnelles. La classification des composés montre que la plupart des polluants mesurés se trouve soit dans la catégorie correspondant à une fréquence de quantification inférieure à 50 % et une concentration inférieure à 100 ng/L, soit dans la catégorie correspondant à une fréquence de quantification supérieure à 50 % et une concentration supérieure à 100 ng/L. Les 23 composés qui composent ce dernier groupe sont donc présents de manière récurrente à des niveaux significatifs dans les rejets d’eau résiduaire urbaine traitée, ils sont par conséquent particulièrement intéressants à suivre dans le contexte du traitement tertiaire des eaux usées. Étant donné le nombre de campagnes et le nombre de composés, ces résultats constituent une base de données importante et intéressante pour appréhender la qualité des rejets de STEP en polluants émergents.

### Mesure de la qualité microbiologique des eaux de surface par le Système ALERT de Fluidion – Présentation des essais laboratoire sur la matrice « eau de Seine »

S. GUERIN-RECHDAOUI, E. ALIBERT, J. BERNIER, S. AZIMI, V. ROCHER, V. HUYNH, A. HAUSOT, D. ANGELESCU

La qualité sanitaire de la Seine s’est améliorée significativement au cours de ces dernières années grâce à l’amélioration des performances du système d’assainissement par temps sec et par temps de pluie. Son ouverture au grand public pour la baignade est une question d’actualité. Dans le cadre de la surveillance de la qualité microbiologique de la Seine pour une gestion active, il peut être nécessaire de disposer d’un outil de quantification rapide et autonome, tel que le « Système ALERT » de Fluidion. Ce dispositif est un analyseur microbiologique pour la quantification in situ des bactéries indicatrices d’une contamination fécale : les *Escherichia coli* (*E. coli*). Le système effectue le prélèvement de l’échantillon dans le milieu aquatique, le mélange avec un bioréactif, l’incubation et les mesures optiques, et transmet les informations en temps réel vers une interface Web sécurisée. Cet article présente l’étude de validation de ce système, réalisée dans le cadre d’un partenariat entre le SIAAP et Fluidion. Une campagne de mesures contradictoires, réalisée par des laboratoires accrédités, a permis de comparer le Système ALERT avec les méthodes réglementaires. Les résultats obtenus lors de l’étude en laboratoire montrent que la quantification donnée par le Système ALERT est comparable aux résultats obtenus avec les méthodes réglementaires, et cela pour une large gamme de concentrations.

## Publiées en 2016

### Le pouvoir méthanogène des boues urbaines Cartographie des boues de STEP et réduction du temps de mesure par un couplage « expérimentation en réacteur/modélisation »

S. GUERIN-RECHDAOUI, S. AZIMI, J. BERNIER, V. ROCHER, S. MOTTELET, A. PAUSS, T. RIBEIRO

Le programme MOCOPEE (Modélisation, Contrôle et Optimisation des Procédés d’Épuration des Eaux, [www.mocopee.com](http://www.mocopee.com)) vise à générer la connaissance et développer les outils métrologiques et mathématiques nécessaires à la maîtrise et l’optimisation des stations d’épuration. Au regard de la place importante occupée par la digestion anaérobie dans les stations d’épuration de l’agglomération parisienne, de nombreuses actions R et D traitant de la question de l’optimisation du procédé de digestion ont été engagées dans ce programme. Ces actions visent notamment à valider à l’échelle industrielle des méthodes d’estimation du potentiel méthane des boues urbaines et à construire des modèles de prédiction du fonctionnement des systèmes de digestion anaérobie. Cet article technique, consacré à l’évaluation du BMP des boues urbaines, a permis de dresser un état des lieux des niveaux de potentiel méthanogène des boues urbaines. Les valeurs moyennes sont comprises entre 300 et 500 Nml CH<sub>4</sub>/g MV (160 et 370 Nml CH<sub>4</sub>/g MS) pour tous les types de boues (primaires, biologiques, mixtes, etc.). Ce travail a également confirmé que la mesure des paramètres classiques (DCO, MV, MS) ne permettait pas de prédire de manière précise le potentiel méthanogène ; la mesure du BMP en réacteur restant le seul moyen d’avoir une information précise. Une méthode de réduction du temps nécessaire à l’estimation du potentiel méthanogène par un couplage entre expérimentation en réacteurs (système AMPTS II®) et modélisation mathématique (modèle ADM simplifié) a donc été proposée. Ce couplage permet d’obtenir une valeur de BMP équivalente à celle obtenue avec une mesure en réacteur classique (erreur relative de 4 % en moyenne) en réduisant le temps d’expérimentation de 20 à 4 jours. Cette réduction du temps de mesure va probablement permettre de redonner un caractère opérationnel fort au BMP, trop peu utilisé à ce jour sur les sites de traitement.

### Le modèle de prédiction de la qualité de la Seine ProSe – Améliorations apportées par les récents travaux de recherche (Piren-Phase VI)

B. LABORIE, V. ROCHER, L. VILMIN, M. POULIN, M. RAIMONET, L. BENARD, J. BERNIER, S. GUÉRIN, A. CUSSONNEAU, J. POUILLAUDE, N. ESCOFFIER, A. GROLEAU, J.-M. MOUCHEL, N. FLIPO

Le Syndicat Interdépartemental pour l’Assainissement de l’Agglomération Parisienne (SIAAP) évalue l’impact du système d’assainissement francilien sur la qualité du milieu récepteur : la Seine et la Marne. Cette évaluation passe par le déploiement de réseaux de mesures opérationnels, ainsi que par la mise en place d’outils de modélisation de la qualité des eaux. Le logiciel de modélisation ProSe (Programme Seine) a été développé par l’École des mines de Paris dans le cadre du programme de recherche Piren-Seine (programme interdisciplinaire de recherche sur l’environnement de la Seine). ProSe permet de simuler l’impact des apports de pollutions anthropiques (rejets transitoires de station d’épuration, rejets urbains de temps de pluie, rejets permanents) sur la qualité de la Seine et de la Marne lors de leur traversée de l’agglomération parisienne. Le SIAAP utilise ce modèle à des fins opérationnelles pour orienter les choix d’exploitation, notamment pour la programmation des chômages d’ouvrage. Les simulations faites avec le modèle ProSe servent également à orienter les programmes d’investissement. En constante évolution, le logiciel s’est doté d’une nouvelle version dans le cadre du 6<sup>e</sup> programme de recherche du Piren-Seine (2011-2014). À la suite de ces évolutions, le groupe de travail ProSe, composé des ingénieurs et experts du SIAAP et des scientifiques du Piren-Seine, a souhaité rédiger un document de synthèse décrivant les ajustements et améliorations apportés au modèle et présentant les principaux tests de validation de cette nouvelle version du logiciel. Ce travail a permis de mettre en avant l’amélioration des prédictions de plusieurs variables essentielles dans l’évaluation de la qualité des eaux : l’O<sub>2</sub>, le NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, le NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, les PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> et la chlorophylle a.

### **Stratégie d'optimisation énergétique au sein d'une station d'épuration.**

#### **Cas du SIAAP**

S. AZIMI, V. ROCHER

Dans le contexte de la transition énergétique, les grands industriels ont mis au cœur de leur préoccupation les problématiques liées à la dépense énergétique. Le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP), industriel majeur du traitement de l'eau de la région parisienne, a mis en place depuis plusieurs années des actions de comptage et d'optimisation de ses consommations énergétiques afin d'en réduire les coûts et les impacts environnementaux associés. Grâce au comptage installé, une cartographie précise des consommations énergétiques a été réalisée à différentes échelles (macroscopique, site, atelier). L'énergie électrique est apparue comme étant la première source d'énergie importée par les stations d'épuration, et les procédés de traitement biologique (aération) sont au premier rang des consommateurs. Partant de ce constat, la méthodologie de recherche des leviers d'optimisation des consommations a permis de dégager des solutions adaptées aux usines d'épuration. D'une part, l'optimisation des coûts d'exploitation doit obligatoirement considérer la filière complète de traitement et englober l'ensemble des dépenses. D'autre part, l'amélioration de la boucle de régulation de l'injection d'air constitue un levier efficace pour la diminution de la consommation énergétique. Et, enfin, le suivi du comptage électrique des principaux équipements est indispensable afin de contenir les surconsommations.

L'Eau, l'Industrie, les Nuisances – n° 391, pages 4-5

### **Le ratio DCO/COT dans les eaux résiduaires urbaines : pas si stable que ça !**

V. ROCHER, S. AZIMI, A. JAIRY, G. VARRAULT

La Directive européenne sur les Eaux Résiduaires Urbaines (91/271/CEE) précise les niveaux de performances devant être atteints sur les stations d'épuration des eaux usées (STEU) ainsi que leurs modalités d'évaluation. Actuellement, l'évaluation des performances des STEU est basée sur le dosage des nutriments azotés (azote global) et phosphorés (phosphore total) ainsi que sur le dosage de la matière organique oxydable par voie biologique (DBO<sub>5</sub> – Demande Biochimique en Oxygène mesurée à 5 jours) et chimique (DCO – Demande Chimique en Oxygène).

L'Eau, l'Industrie, les Nuisances – n° 391, pages 75-82

### **Modélisation du fonctionnement des décanteurs physico-chimiques lamellaires – Calibration et validation à l'échelle industrielle d'un modèle simple à une dimension**

J. BERNIER, S. GUERIN, S. AZIMI, V. ROCHER, SIAAP, P. LESSARD,

Ce projet collaboratif, mené entre le SIAAP et l'Université Laval à Québec dans le cadre du programme de recherche Mocopée (MOdélisation, Contrôle et Optimisation des Procédés d'Épuration des Eaux – <http://mocopée.com>) vise à développer des modèles mathématiques capables de prédire le fonctionnement des procédés d'épuration des eaux résiduaires urbaines. Cette étude s'intéresse plus particulièrement au procédé de décantation primaire. Des modifications relativement simples ont été apportées à un modèle de décantation à une dimension afin de simuler le comportement d'un décanteur primaire physico-chimique lamellaire. Ces modifications concernent en premier temps le fractionnement des matières en suspension en plusieurs variables composites et d'état, afin de pouvoir simuler des polluants autres que les MeS. Un réacteur de floculation, à l'intérieur duquel l'effet du chlorure ferrique sur l'abattement de la DCOs et des PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> est simulé, est ensuite ajouté au modèle en amont du bassin de décantation. Le modèle est ensuite calibré et validé sur un jeu de données de huit ans obtenues sur l'étage de décantation primaire de la station Seine centre, située à Colombes en Île-de-France. Les résultats pour la plupart des variables simulées sont d'une précision relativement semblable entre la période de calibration et de validation. De même, les prédictions du modèle sont généralement près des observations et suivent les tendances observées sur l'eau en sortie du procédé. Bien que calibré sur une plage de concentrations injectées en FeCl<sub>3</sub> constituée en majorité de valeurs élevées, le modèle parvient à simuler correctement l'étage de décantation primaire étudié et ce, malgré sa relative simplicité.

### **La dénitrification autotrophe appliquée au procédé Thiodénox, une solution alternative aux problèmes liés à l'utilisation du méthanol en dénitrification hétérotrophe**

J. KRIER

Le procédé Thiodénox, qui a fait l'objet d'un dépôt de brevet national et international en juin 2003, est un nouveau procédé de traitement des eaux résiduaires urbaines mis au point par le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP). Il permet l'épuration par voie biologique de la pollution carbonée et azotée d'une eau résiduaire urbaine, en utilisant l'activité métabolique des bactéries participant au cycle biochimique d'oxydo-réduction du soufre. Le traitement complet par la technique des cultures mixtes (moving bed biofilmreactor) qui a fait l'objet d'une première évaluation entre les années 2006 et 2011 a été modifié pour fonctionner en mode IFAS (integrated fixed-film activated sludge). Cette nouvelle configuration permet en plus d'une élimination du carbone sans apport d'oxygène, de respecter un rejet inférieur à 10 mg/L de N-NGL en fonctionnement fiabilisé, exempt de nitrites avec une consommation énergétique en air et une production de boues inférieures à celles des procédés MBBR conventionnels actuellement sur le marché. La comparaison des performances avec une boue activée à faible charge sur le même effluent à traiter est très favorable au Thiodénox sur le plan de la dénitrification. En réduisant la consommation énergétique et en limitant les rejets gazeux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, le procédé s'inscrit dans une logique de développement durable.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 3, pages 28-40

### **Élimination des polluants émergents dans les rejets de STEP.**

#### **(2) Étude expérimentale des processus de sorption sur le charbon actif**

R. MAILLER, J. GASPÉRI, Y. COQUET, C. DEROME, A. BULETÉ, E. VULLIET, A. BRESSY, G. VARRAULT, G. CHEBBO, V. ROCHER

Le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) et le Laboratoire eau, environnement et systèmes urbains (Leesu) étudient, en collaboration avec les équipes de la Saur, le procédé CarboPlus, procédé de traitement tertiaire des eaux usées basé sur les propriétés de sorption du charbon actif. Parallèlement au suivi d'un prototype industriel, des expérimentations ont été menées à l'échelle du laboratoire afin d'améliorer notre compréhension et nos connaissances sur les processus de sorption des micropolluants sur le charbon actif, et en particulier sur le charbon actif en poudre (CAP). Les résultats ont notamment montré que les performances du CAP étaient fortement liées à la surface spécifique (BET), qui peut être aisément estimée par une mesure de la densité apparente. L'étude des processus de sorption a également mis en évidence l'influence forte de la dose appliquée en CAP ainsi que la rapidité de la cinétique de sorption. D'un point de vue opérationnel, l'ajout de chlorure ferrique semble apporter un léger bénéfice sur l'adsorption de la plupart des composés mesurés, probablement par coagulation de la fraction colloïdale de la matière organique dissoute. Au contraire, la présence et la concentration résiduelle en méthanol dans l'eau ne semblent pas modifier le devenir des résidus médicamenteux. Il a également été montré que la concentration en carbone organique dissous n'est pas toujours suffisante pour expliquer la limitation du processus de sorption, la nature de la matière organique présente dans l'effluent doit également être considérée. Enfin, ce travail a montré que la prédiction du comportement des micropolluants organiques en utilisant l'abattement de l'absorbance UV à 254 nm semblait prometteuse, notamment pour certains composés comme la carbamazépine ou le diclofénac.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 3, pages 12-26

### **Élimination des polluants émergents dans les rejets de STEP.**

#### **(1) Étude du procédé CarboPlus à l'échelle du prototype**

V. ROCHER, R. MAILLER, J. GASPÉRI, Y. COQUET, F. NAULEAU, O. ROUSSELOT, S. AZIMI, S. DESHAYES, S. ZEDEK, V. EUDES, A. BRESSY, E. CAUPOS, R. MOILLERON, G. CHEBBO

Le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP), via sa direction du développement et prospective, a engagé un projet de recherche (2013-2015) visant à étudier l'efficacité de différentes techniques de traitement tertiaire vis-à-vis des micropolluants émergents (résidus médicamenteux, hormones, polluants de la directive cadre sur l'eau, etc.) encore présents dans les rejets de station d'épuration. Dans le cadre de ce projet, le procédé CarboPlus, conçu par la société Stéreau et basé sur l'injection de charbon dans un réacteur à lit fluidisé, est étudié en collaboration avec les équipes de la Saur et du Laboratoire eau, environnement et systèmes urbains (Leesu). Les différentes campagnes de mesure ont montré que ce procédé permettait

d'éliminer efficacement les principaux composés suivis. Le niveau d'abattement est directement lié au taux de traitement, c'est-à-dire à la quantité de charbon actif en poudre (CAP) neuf injecté en continu dans le réacteur. L'application d'un taux de traitement de 10 g/m<sup>3</sup> est suffisante pour éliminer efficacement un grand nombre de composés ; huit composés étant abattus à plus de 80 % avec ce taux de traitement. L'augmentation de ce dernier jusqu'à 20 g/m<sup>3</sup> permet d'augmenter encore l'efficacité du traitement. En passant d'un taux de traitement de 10 à 20 g/m<sup>3</sup>, le nombre de composés abattus à plus de 80 % passe à une quinzaine. Le gain est particulièrement important pour certains micropolluants : kétoprofène, naproxène, ofloxacine, sulfadiazine ou sulfaméthoxazole, diclofénac ; cette dernière molécule étant éliminée à 90 % avec ce taux de traitement.

## Publiées en 2015

Techniques Sciences et Méthodes – n° 12, pages 25-39

### **Premières investigations sur la contamination en microplastiques d'une zone urbaine – Cas de l'agglomération parisienne**

R. DRIS, J. GASPERI, V. ROCHER, M. SAAD, B. TASSIN

L'impact des plastiques sur les écosystèmes marins a été constaté dès les années 1970. Même si cet impact est incomplètement cerné (d'un point de vue éco toxicologique essentiellement), il ressort de la littérature qu'il est significatif. Actuellement, l'impact des microplastiques, particules de taille inférieure à 5 mm, est étudié. Certains travaux suggèrent qu'une grande partie des microplastiques en milieu marin est importée du continent par les fleuves. Il n'existe de nos jours aucune étude à l'échelle des bassins versants urbains pour étayer ces hypothèses. Cette étude est une des premières à mesurer les apports par les réseaux urbains aux milieux récepteurs, à estimer l'efficacité des traitements sur ces types de particules et à évaluer l'apport des retombées atmosphériques. Pour ce faire, des prélèvements sont effectués au niveau des eaux usées, des rejets de stations d'épuration, des retombées atmosphériques et des eaux de surface. Les échantillons sont analysés par filtration directe. Les filtres sont observés sous stéréo-microscope et les microplastiques comptabilisés. Les microplastiques sous forme de fibres sont prédominants. Les niveaux de concentration à l'entrée de la station d'épuration de Seine centre varient entre  $260 \times 10^3$  et  $640 \times 10^3$  particules/m<sup>3</sup>. Des niveaux plus faibles sont observés dans les rejets (entre  $26 \times 10^3$  et  $50 \times 10^3$  particules/m<sup>3</sup>) attestant d'un abattement dans les filières de traitement ayant recours à des biofiltres. Les retombées atmosphériques présentent des moyennes de 111 particules/m<sup>2</sup>/j sur un site urbain et de 58 particules/m<sup>2</sup>/j sur un site périurbain. Les retombées atmosphériques sont susceptibles de constituer une source diffuse majeure de microplastiques. La forme fibreuse est prédominante chez les microplastiques dans les eaux de surface. Des concentrations entre 2 et 441 particules/m<sup>3</sup> ont été observées. Les microplastiques de forme fibreuse pourraient provenir des sources urbaines directes ou diffuses.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 10, pages 33-42

### **Intérêt de la mesure biologique dans le suivi des performances de traitement des polluants « émergents » en eaux résiduaires municipales**

D. DU PASQUIER, G. LEMKINE, K. MEYNEROL, P. SAUVIGNET, J. BORSATO, A. GONÇALVES, V. ROCHER

Les effluents de stations d'épuration rejetés dans le milieu naturel contiennent des micropolluants ayant encore un potentiel de perturbation endocrinienne. L'élimination des effets de perturbation endocrinienne nécessite une configuration impliquant un traitement tertiaire, voire quaternaire. Le contrôle du bon fonctionnement et l'optimisation de ces systèmes de traitement nécessitent de leur associer des méthodes afin de contrôler la qualité d'eau traitée vis-à-vis de ces substances. Les bio-indicateurs sont actuellement la technique la plus adaptée, car ils permettent de caractériser le potentiel de perturbation endocrinienne d'un échantillon en intégrant les effets de toutes les molécules présentes. Dans ce contexte, le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP), en partenariat avec Veolia et WatchFrog, a testé l'efficacité de l'association d'un procédé de traitement tertiaire : le procédé Actiflo Carb (Veolia) avec des mesures de l'effet endocrinien par des biomarqueurs. Nous avons utilisé des larves de poissons

ou d'amphibiens dont la fluorescence augmente ou diminue lorsque des molécules présentes dans l'échantillon affectent le fonctionnement d'un axe endocrinien. Un instrument, la FrogBox, permettant d'exposer en continu ces larves et de quantifier à intervalles réguliers leur émission de fluorescence, a été utilisé pour l'exposition aux échantillons et la lecture des résultats sur site. Nous avons effectué pendant plusieurs mois des mesures à l'aide de deux FrogBox placées en entrée et en sortie de l'unité de traitement Actiflo Carb. Nous avons mis en évidence l'existence de variations dynamiques du potentiel de perturbation endocrinienne au cours des jours, des semaines et des mois de cette étude. La réalisation d'analyses chimiques en parallèle des mesures biologiques a permis de montrer que, sur cette station d'épuration, l'effet thyroïdien mesuré en FrogBox est corrélé à des micropolluants dont les concentrations suivent les mêmes variations que celles des micropolluants dosés. Les résultats démontrent également la pertinence de l'outil de mesure en ligne FrogBox pour la caractérisation de l'efficacité du traitement tertiaire. En analysant quotidiennement le potentiel endocrinien de l'eau d'entrée et de sortie de l'Actiflo Carb, nous avons pu mettre en évidence son efficacité pour éliminer les molécules responsables des effets endocriniens.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 7/8, pages 12-26

### **Évolution du peuplement piscicole de la Seine de 1990 à 2013**

S. AZIMI, O. ROUSSELOT, V. ROCHER

La gestion des milieux aquatiques en Europe est guidée par la directive n° 2000/60/CE, retranscrite en France par la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006. Cette politique, visant à améliorer et à rétablir le bon état écologique des eaux, est déclinée dans les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) et leurs programmes de mesures. Cette volonté d'agir pour améliorer la qualité des milieux naturels est relayée par les lois Grenelles 1 et 2. Longtemps fondée uniquement sur l'analyse de la composition physico-chimique, l'évaluation de la qualité des cours d'eau repose désormais également sur des composantes biologiques des écosystèmes aquatiques telles que les algues (diatomées), les macrophytes, les macro-invertébrés benthiques et les poissons. Parmi ces indicateurs potentiels, les poissons constituent de véritables intégrateurs de la qualité des eaux et, plus largement, du fonctionnement des milieux aquatiques en raison de leur position au sommet de la chaîne alimentaire. Dès 1990, le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) s'est assuré du concours du Conseil supérieur de la pêche (dont les attributions furent intégrées par la suite au sein de l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques Onema) et a effectué un suivi du peuplement piscicole de la Seine autour de l'agglomération parisienne. La prospection a été effectuée sur huit stations, d'amont en aval de Paris, suivant l'échantillonnage ponctuel d'abondance par pêche électrique. Ce travail a été complété par l'analyse du niveau de contamination des chairs de deux espèces de poissons (gardons et anguilles) pour trois familles de micropolluants (métaux, PCB et pesticides). La mesure du biomarqueur « EROD » a complété le dispositif de suivi. Les résultats obtenus sur une chronique de 23 années montrent une augmentation du nombre d'espèces présentes en Seine de 14 (1990) à 21 (2013) ; le nombre total d'espèces recensées sur cette période étant de 32. Et plus globalement, une modification de la population de la Seine apparaît sur cette période de 23 années avec l'augmentation d'une population principalement peu exigeante et l'apparition d'une population plus sensible. On observe ainsi une augmentation du nombre d'individus chez les espèces telles les ablettes et les chevesnes et une présence plus soutenue d'espèces telle la grémille, le chabot ou le sandre, colonisant lentement le milieu. Bien que l'indice poisson rivière tende à montrer une bonne qualité des eaux, les mesures de polluants dans les chairs ont permis de mettre en exergue un dépassement des normes de qualités environnementales pour le mercure et les PCB indicateurs.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 11, pages 106-118

### **Modélisation du fonctionnement des biofiltres nitrifiants de la station d'épuration Seine aval (SIAAP) 2. Cas de l'encrassement et des pertes de charge**

V. ROCHER, J. BERNIER, S. GUÉRIN, P. LESSARD

Ce projet collaboratif, mené entre le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) et l'université Laval (Québec) dans le cadre du programme de recherche Mocopée (pour : MOdélisation, ConTrôle et OptiMisation des Procédés d'Épuration des Eaux), vise à développer des modèles mathématiques capables de prédire le fonctionnement des unités de bio filtration des eaux résiduaires urbaines. Il s'agit de prédire les performances vis-à-vis des nutriments et des particules mais également l'évolution de l'encrassement des massifs filtrants. Ce travail est plus particulièrement consacré à l'étape de nitrification tertiaire sur Biostyr et se focalise sur la pré-diction de l'encrassement. Le modèle préalablement calibré et validé pour la simulation de l'abattement des nutriments a été utilisé pour simuler l'évolution de l'encrassement mesuré sur les unités de nitrification de Seine aval (83 filtres de type Biostyr, 1 700 000 m<sup>3</sup>/j). Les résultats obtenus pour les simulations des pertes de charge initiales et les pertes de charge horaires sont globalement satisfaisants ; les équations d'Ives [1970], utilisées pour modéliser la perte de charge en fonction du volume d'encrassement, semblant donc être adaptées à la biofiltration des eaux usées. Lors de l'étape de calibration, les ajustements nécessaires à l'obtention de prédictions correctes ont concerné : le mode d'extraction du dépôt lors du lavage, les coefficients d'Ergun, les coefficients de filtration y et z et le facteur d'empilement.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 11, pages 85-104

### **Modélisation du fonctionnement des biofiltres nitrifiants de la station d'épuration Seine aval (SIAAP) 1. Cas des performances épuratoires**

V. ROCHER, J. BERNIER, S. GUÉRIN, P. LESSARD

Ce projet collaboratif, mené entre le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) et l'université Laval à Québec dans le cadre du programme de recherche Mocopée (pour : MOdélisation, ConTrôle et OptiMisation des Procédés d'Épuration des Eaux) vise à développer des modèles mathématiques capables de prédire le fonctionnement des unités de biofiltration des eaux résiduaires urbaines. L'objectif est : – de simuler les performances vis-à-vis de l'enlèvement des nutriments et des particules ; – et de prédire l'évolution des pertes de charge dans le cas de biofiltres dédiés au traitement du carbone, à la nitrification et à la dénitrification. Cet article est consacré à l'étape de nitrification tertiaire sur Biostyr et se focalise sur la prédiction de l'abattement des nutriments et des particules. La méthode de calibration a consisté à utiliser les résultats des 15 profils de concentrations intramassifs puis les suivis des performances des biofiltres sur le long terme. Le modèle ainsi calibré prédit correctement l'évolution des concentrations résiduelles en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, demande chimique en oxygène (DCO) et matières en suspension (MES). Dans les cas des NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et des MES, le modèle suit l'évolution globale des observations mais a tendance à lisser les concentrations résiduelles et décroche lorsque des pics ou des creux de concentrations sont observés. Pour obtenir des résultats satisfaisants, le jeu de calibration de référence issu de la littérature a dû être modifié. Ces modifications ont essentiellement concerné les paramètres de filtration et d'enlèvement des particules, les paramètres de transfert des nutriments solubles vers le biofilm et les paramètres d'aération.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 11, pages 57-68

### **Traitement au chlorure ferreux d'une tranche biologique de la station d'épuration de Seine aval**

J. KRIER, É. MANJOSSEN, N. BODIN

Depuis sa création en 1970, le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) a été confronté au problème des nuisances olfactives dans l'exploitation de ses réseaux et de ses usines d'épuration. Le SIAAP a choisi l'option d'injection de nitrate de calcium dans les réseaux pour limiter cet impact environnemental. Le coût annuel de traitement pour la station de Seine aval atteint les 4 millions d'euros. Une optimisation des coûts est recherchée par le biais de régulations automatiques ou de substitution du traitement actuel par des réactifs moins onéreux. Parmi les réactifs disponibles, le chlorure ferreux en dehors d'un intérêt économique présente des avantages à la fois sur la réduction des émissions d'H<sub>2</sub>S et sur l'élimination du phosphore. Un contexte particulier d'exploitation sur Seine aval a permis de tester ce réactif à une échelle véritablement industrielle. Le produit a été injecté dans la décantation primaire en remplacement du chlorure-ferrique. En dehors de son action recherchée sur le gaz de digestion, l'impact sur la qualité de l'eau de sortie a été particulièrement étudié. Les résultats ont confirmé une action de neutralisation des sulfures formés en digestion et de déphosphatation sur les bassins biologiques. Le maintien à 100 ppm en H<sub>2</sub>S du gaz de digestion a été respecté. Une déphosphatation de 1 mg/L supplémentaire a été observée par rapport au chlorure ferrique. Une amélioration du fonctionnement des clarificateurs secondaires a été remarquée et, par voie de conséquence, de la qualité des eaux de sortie en ce qui concerne les matières en suspension et la demande chimique en oxygène. Une approche économique a permis d'établir l'intérêt financier de substituer le chlorure ferreux au chlorure ferrique pour ce type d'application. En 2013, un essai sur l'ensemble des tranches de Seine aval sera entrepris afin de confirmer ces premiers résultats et mesurer l'impact global sur les nuisances olfactives.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 1/2, pages 18-29

### **Suivi en continu de la qualité des eaux de surface – Premiers résultats du projet CarboSeine**

V. ROCHER, A. GROLEAU, N. ESCOFFIER, E. GARCIA-GONZALEZ, J. POUILLAUDE, S. GUERIN, R. MAILLER, C. PAFFONI

L'évolution du contexte technico-réglementaire a conduit le Syndicat Interdépartemental de l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) à entreprendre, avec ses partenaires scientifiques du Laboratoire de géochimie des eaux de l'Institut de physique du globe de Paris, le développement d'un nouveau réseau de suivi de la qualité des eaux de surface : le réseau CarboSeine. Ce réseau prototype permet aujourd'hui de suivre en continu les paramètres physico-chimiques classiques (température, conductivité, pH), l'oxygène dissous, la biomasse phytoplanctonique (chlorophylle a totale et contribution de quatre classes de microalgues et des substances humiques dissoutes), les particules en suspension (turbidité, granulométrie), la matière organique (carbone organique dissous) et les orthophosphates. Les campagnes de tests menées sur la station installée au cours de l'année 2011 sur le site de Bougival ont permis d'évaluer la justesse des données fournies par les capteurs embarqués sur ces stations prototypes. Ainsi, les tests de validation ont permis d'apprécier la qualité des données acquises grâce à l'analyseur d'orthophosphates (Cycle-P, Wet-Labs) et à la sonde multiparamètre MP6 (NKE). Pour cette dernière sonde, des actions complémentaires devront néanmoins être menées pour résoudre le problème d'encrassement du turbidimètre, phénomène particulièrement marqué lors des efflorescences algales. Les tests de validation ont également permis d'apprécier la qualité des données fournies par la sonde Fluoroprobe II (BBE-Moldaenke), quant à la mesure en continu des concentrations en chlorophylle a totale. Des travaux complémentaires seront nécessaires pour évaluer la capacité de cette sonde à discriminer finement la contribution de quatre classes de microalgues (diatomées, cyanobactéries, chlorophycées et cryptophycées) à cette biomasse phytoplanctonique totale.

### **Phtalates et alkylphénols dans les effluents industriels : contribution à la pollution véhiculée dans les réseaux d'assainissement parisiens**

A. BERGÉ, J. GASPERI, V. ROCHER, L. GRAS, A. COURSIMAULT, R. MOILLERON

Les eaux résiduaires urbaines transitant dans les réseaux d'assainissement véhiculent un nombre important de polluants parmi lesquels les substances dites « émergentes » comme les phtalates et les alkylphénols. Le danger associé à ces composés le plus largement reconnu réside indubitablement dans leur potentiel œstrogénique, c'est-à-dire leur capacité à imiter les hormones œstrogènes naturelles. Si les données collectées dans le milieu naturel commencent à être importantes, notamment pour les alkylphénols et, dans une moindre mesure, pour les phtalates, les informations concernant les différentes sources de contamination (rejets industriels, rejets domestiques, rejets de station d'épuration, etc.) sont encore trop limitées pour définir des actions prioritaires de réduction de ces composés. Parmi les sources de contamination, les rejets industriels sont souvent considérés comme vecteur de la pollution en milieu urbain. Au total, 101 échantillons répartis sur 33 sites et classés dans 11 secteurs d'activité ont été collectés. Ainsi ont été échantillonnés des rejets de blanchisseries industrielles, d'industries de traitement de surface, d'industries pharmaceutiques et cosmétiques... Les échantillons ont été analysés pour les composés suivants : diéthylphtalate, di-n-butyl phtalate, butyl benzyl phtalate, di-(2-éthylhexyle) phtalate, nonylphénol et 4-tert-octylphénol. Les phtalates et le nonylphénol ont été mesurés à des concentrations importantes (jusqu'à 1200 µg/L). Au final, après estimation des flux, les rejets industriels semblent contribuer que très faiblement au flux total entrant dans les stations d'épuration parisiennes (moins de 3 % pour tous les composés).

## **Publiées en 2012**

### **Vers une nouvelle méthode de détermination des métaux labiles dans les milieux aquatiques**

G. VARRAULT, V. ROCHER, G. BRACMORT, Y. LOUIS, Z. MATAR

Il est désormais admis que pour évaluer à court terme l'impact des métaux sur les organismes vivants dans les systèmes aquatiques, il est nécessaire d'estimer la fraction de métal biodisponible. Plusieurs techniques existent comme, notamment, la méthode du diffusif gradient in thin film (DGT) qui permet la mesure de la fraction labile des complexes métalliques. Cependant, cette méthode est par nature une méthode intégrative et n'est donc pas adaptée aux mesures ponctuelles de métaux labiles. L'objectif de cette étude, menée par le Leesu en collaboration avec les équipes de la direction du développement et de la prospective du SIAAP, est d'optimiser et de valider une méthode simple de détermination des concentrations en métaux labiles. Pour cela, nous avons choisi l'utilisation de disques chélatants constitués d'un polymère (polystyrène divinylbenzène) fonctionnalisés par des groupements iminodiacétiques (IDA) chélatants semblables à ceux utilisés par la méthode DGT. L'originalité, ici, est d'utiliser ces groupements sous forme de disques chélatants qui se présentent et s'utilisent exactement comme de simples disques filtrants. L'échantillon filtré à analyser est introduit dans le disque chélatant, les groupements IDA retiennent par complexation les métaux labiles en laissant passer les complexes métalliques inertes. La concentration en métal « inerte » est déterminée dans l'effluent de disque (solution de sortie) et donne accès à la concentration en formes labiles par soustraction à celle en métal dissous total. Ce principe et cet usage très simples sont compatibles, d'une part, avec un transfert vers le milieu opérationnel et, d'autre part, avec des mesures ponctuelles.

### **Variabilité de la qualité microbiologique des eaux usées brutes dans une grande agglomération**

F. LUCAS, A. GONÇALVES, P. SERVAIS, V. ROCHER, S. MASNADA, C. THERIAL, L. LESAGE, J.M. MOUCHEL

La qualité microbiologique des eaux résiduaires urbaines présente des enjeux environnementaux, sanitaires et politiques importants. Toutefois, il existe peu de connaissance sur la variabilité de la qualité des eaux usées non traitées. Cette étude a pour but d'évaluer la variabilité microbiologique des eaux usées alimentant plusieurs stations d'épuration de l'agglomération parisienne et d'évaluer l'impact de cette variabilité sur l'efficacité du traitement. Les indicateurs de contamination fécale (*Escherichia coli* et entérocoques intestinaux) et leur répartition sur les phases sédimentables et libres ont été analysés dans trois stations d'épuration (Marne aval, Seine amont et Seine centre) par temps sec et par temps de pluie. Nos résultats montrent que les abondances en indicateurs bactériens fécaux fluctuent en fonction de la configuration du réseau d'assainissement et des conditions hydrologiques. Par temps de pluie, une dilution significative des indicateurs peut être observée ainsi qu'une augmentation de la fraction sédimentable. L'abattement par traitement primaire et secondaire des entérocoques est lié aux densités en entérocoques dans les eaux usées brutes. Toutefois, les variations de débits et les conditions d'exploitation influencent également l'efficacité des abattements des deux indicateurs.

### **Substances prioritaires dans les rejets urbains de temps de pluie : cas du déversoir de Clichy**

J. GASPERI, M. CLADIÈRE, S. ZGHEIB, V. ROCHER, R. MOILLERON, G. CHEBBO

Cet article restitue les résultats obtenus dans le cadre du programme « Observatoire des polluants urbains » (OPUR) sur la qualité des rejets urbains de temps de pluie (RUTP). Sa finalité est d'examiner l'occurrence des substances prioritaires dans ce type de rejet et l'importance de leur concentration comparativement aux eaux usées ou aux eaux de ruissellement. Cette étude confirme avant tout qu'un nombre important de substances prioritaires sont présentes dans les RUTP. Parmi les 88 substances recherchées, 49 substances ont été détectées dans les RUTP, la plupart étant aussi détectées dans les eaux usées ou les eaux de ruissellement. Pour la majorité des composés organiques, les concentrations totales fluctuent typiquement entre 0,01 et 1 µg/L, tandis que les métaux présentent des concentrations supérieures à 10 µg/L. En dépit de l'ubiquité des molécules, des différences significatives apparaissent en termes de concentrations ou de profils entre les RUTP, les eaux usées et les eaux de ruissellement. Pour la plupart des polluants organiques hydrophobes et des métaux particuliers, les concentrations des RUTP excèdent les concentrations observées pour les eaux usées et les eaux de ruissellement, ce qui est dû à la remise en suspension des dépôts formés au sein du réseau. Pour les pesticides et le Zn, les eaux de ruissellement semblent contribuer majoritairement à la pollution observée dans les RUTP, tandis que les eaux usées demeurent la source majoritaire de composés organiques volatils. De manière assez surprenante, des concentrations en DEHP et en organoétains comparables ont été observées entre tous les types d'eau. La dernière partie de cette étude comparant les niveaux observés dans les RUTP aux normes de qualité environnementales souligne un risque important pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les organoétains et les chloroalcanes.

### **Devenir des phtalates en milieu urbain : de l'égout au rejet de la station d'épuration**

A. BERGÉ, J. GASPERI, V. ROCHER, A. COURSIMAULT, R. MOILLERON

Ce travail restitue les résultats obtenus dans le cadre de la troisième phase du programme OPUR sur la qualité, à la fois, des eaux usées transitant dans les grands émissaires de la région parisienne, des effluents en entrée et des eaux en sortie de la station d'épuration de Seine centre (Colombes). Sa finalité est : – d'établir un état des lieux de la contamination par les phtalates dans un bassin versant urbain fortement anthropisé ; – et de déterminer l'efficacité de différents procédés d'épuration (décantation physico-chimique lamellaire et biofiltration) vis-à-vis de ces composés. Les concentrations, pour ces derniers, fluctuent dans les émissaires entre 0,60 et 3,91 µg/L pour le phtalate de di-n-butyle (DnBP) et le phtalate de benzylbutyle (BBP), et entre 5,23 et 161 µg/L pour le phtalate de diéthyle (DEP) et le phtalate de diéthylhexyle (DEHP). Les concentrations pour ces mêmes composés fluctuent entre 0,97 et 6,01 µg/L, et entre 7,00 et 71,88 µg/L dans les eaux brutes en entrée de Seine centre. Pour le DEHP, la concentration dans les eaux épurées (2,30 µg/L) dépasse

la norme de qualité environnementale (NQE) en vigueur (1,30 µg/L) définie pour le milieu récepteur. Toutefois, la dilution de ces eaux dans le milieu récepteur atténue l'impact de ce composé sur la faune et la flore locales. Enfin, une part significative de la pollution (> 83% pour tous les composés) est éliminée lors de la décantation physico-chimique lamellaire et de la biofiltration, avec une décantation lamellaire qui favorisera l'élimination des composés lourds (DEHP, DnBP et BBP) et une biofiltration qui éliminera principalement des composés légers comme le DEP.

## Publiées en 2011

Techniques Sciences et Méthodes – n° 9, pages 39-51

### Conséquences des directives DERU et DCE sur les arrêtés réglementaires des stations

O. ROUSSELOT

Le Syndicat Interdépartemental de l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP), établissement public créé en 1970, a pour mission de transporter et d'épurer les eaux usées domestiques, industrielles et pluviales de l'agglomération parisienne. Il dispose à cet effet de cinq usines de dépollution, réparties sur son bassin de collecte : Seine aval (78), Seine amont (94), Seine centre (92), Seine-Grésillons (78) et Marne aval (93).

Le classement de la Seine et de la Marne en zone sensible à l'eutrophisation au titre de la directive eaux résiduaires urbaines (Deru), le 23 décembre 2005, impose notamment pour chacune de ses stations, le respect de performances annuelles de traitement en azote global (NGL : 10 mg/L ou abattement de 70 %) et en phosphore total (P : 1 mg/L ou abattement de 80 %), avant la fin 2011. Les arrêtés réglementaires d'autorisation se révèlent cependant plus sévères que ces objectifs annuels. Ainsi, outre des prescriptions annuelles sensiblement plus contraignantes, des performances journalières et des valeurs réductrices sont introduites pour certaines stations.

De même, la mise en application de la directive cadre sur l'eau (DCE) fixe des objectifs dans le milieu naturel pour l'atteinte du bon état écologique, avec une première échéance en 2015. Ils portent notamment, pour les paramètres soutenant la biologie, sur l'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et le phosphore (P). Les limites supérieures sont fixées pour ces deux paramètres à 0,5 mg/L pour NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et à 0,2 mg/L pour P, dans la masse d'eau considérée, sur 90 % des mesures. Les demandes d'autorisation qui sont présentées par le SIAAP pour les projets en cours à cet horizon se trouvent donc très contraintes, puisque les objectifs visés dans le milieu récepteur sont finalement transposés pour l'essentiel au niveau du rejet des stations, là aussi en valeurs journalières.

L'aspect pragmatique des modalités de contrôle de conformité, plus aisés en journalier ou en instantané qu'en annuel, ou la faible dilution attendue par le milieu et la volonté d'éviter tout risque de déclassement et, par-delà, de condamnation de la France par l'Europe, sont autant de raisons qui poussent les services instructeurs de ces autorisations à renforcer les prescriptions des arrêtés de rejet. Elles mettent aussi le maître d'ouvrage en situation d'imposer des garanties très sévères auprès des constructeurs dès l'élaboration de ses projets et dossiers de demandes.

Or dans des procédés biologiques, en réseaux unitaires soumis aux aléas des temps de pluie et aux variations de charges saisonnières, le respect de performances journalières extrêmes n'est pas évident à garantir 365 jours par an. Les procédés de déphosphatation biologique ou de dénitrification amont, moins consommateurs en réactifs chimiques ou en énergie et qui présentent des rendements appréciables en fonctionnement moyenné sur l'année, font apparaître leurs limites lorsqu'il s'agit de d'assurer des valeurs quotidiennes très strictes. Cela peut ainsi conduire à des surdimensionnements dès la conception, à des niveaux de fiabilité très élevés, voire surabondants, à des recours quasi systématiques aux procédés physicochimiques ou de dénitrification aval et à des surdosages en réactifs, pour anticiper les aléas inhérents à l'exploitation future des stations.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 4, pages 74-83

### OPUR, un outil d'amélioration des connaissances. Le point de vue des gestionnaires : retour d'expérience et orientations scientifiques

V. ROCHER, N. AIRES, A. RABIER, F. VANDELANNOOTE, R. CHARVET

Le Laboratoire eau, environnement et systèmes urbains (Leesu) a mis en place, en 1994, un Observatoire sur les polluants urbains en Île-de-France (OPUR). Cet observatoire, dont le but est d'améliorer les connaissances concernant les sources, les caractéristiques et les mécanismes de génération et de transport de polluants et micropolluants dans notre système d'assainissement, est soutenu depuis sa création par les principaux acteurs de l'eau en région parisienne : l'agence de l'eau Seine-Normandie, le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP), les départements des Hauts-de-Seine et du Val-de-Marne, et la ville de Paris. Ce programme se décompose en phases quadriennales. La troisième phase du programme de recherche de l'Observatoire sur les polluants urbains, initiée en 2007, s'achève dans quelques mois. L'année 2011 constitue donc une année charnière qui doit permettre de finaliser les dernières actions de recherche en cours et de réfléchir ensemble aux orientations futures du programme de recherche de l'OPUR. Cet article, rédigé par l'ensemble des partenaires du programme, s'inscrit pleinement dans cette démarche. D'une part, il vise à dresser un bilan sur le fonctionnement de cet observatoire et sur les enseignements que nous pouvons tirer des actions de recherche menées dans le cadre de ce programme scientifique. Et, d'autre part, il présente les orientations envisagées par les partenaires pour la prochaine phase quadriennale de ce programme.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 3, pages 20-34

### Comportement des substances prioritaires sur les ouvrages de traitement des eaux usées : cas de la décantation lamellaire et de la biofiltration

V. ROCHER, J. GASPERI, S. AZIMI, S. GILBERT, C. PAFFONI

Cet article présente les résultats obtenus lors des expérimentations menées sur la station d'épuration Seine centre (Colombes, 800 000 équivalent/habitant) du Syndicat Interdépartemental de l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP). Il apporte des éléments sur les niveaux de contamination des eaux résiduaires urbaines en substances prioritaires et, surtout, sur le comportement de ces micropolluants sur des procédés de traitement largement employés en France : les décanteurs physico-chimiques lamellaires et les unités de biofiltration. Sur les 88 substances recherchées, 39 substances ont été fréquemment dosées dans les eaux usées à des niveaux de concentration très variables ; les métaux lourds (Zn, Cu et Pb) et le di(2-éthylhexyl) phtalate (DEHP) étant présents à des niveaux de concentration largement supérieurs aux autres molécules. Le traitement des eaux par décantation élimine de manière relativement efficace les éléments métalliques. Dans le cas des polluants organiques, les abattements sont très variables d'une molécule à l'autre, en fonction de leur hydrophobicité. Ainsi, les polluants dont le log Kow est inférieur à 4 ne sont que légèrement éliminés par la décantation (rendement d'élimination < 20 %) alors que les polluants présentant un log Kow supérieur à 5 sont très fortement éliminés (rendement d'élimination comparable à celui des particules, soit ≈ 80 %). Les unités de biofiltration éliminent également de façon hétérogène les micropolluants : les composés hydrophobes ou volatils ont tendance à être éliminés sur les biofiltres, alors que les composés hydrophiles et peu volatils franchissent la barrière du traitement biologique en étant peu ou pas abattus. Globalement, sur les 39 polluants initialement détectés dans les eaux prétraitées, seuls 20 composés ont été mesurés dans les eaux rendues au milieu naturel, les concentrations les plus importantes ayant été notées pour le zinc et le DEHP suivis du chloroforme, du tri- et tétrachloroéthylène et du nonylphénol. Il convient de souligner que les pesticides, molécules hydrophiles et réfractaires, franchissent la barrière de la station d'épuration sans être éliminés.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 4, pages 63-72

### Traitement des eaux usées de temps de pluie à la station Seine centre. Étude des paramètres globaux, des alkylphénols et des polybromo-diphényléthers

S. GILBERT, J. GASPERI, V. ROCHER, C. LORGEUX, G. CHEBBO

Cette étude vise à déterminer l'efficacité d'une station d'épuration des eaux usées moderne (Seine centre, Colombes), vis-à-vis des paramètres globaux, des polybromodiphényléthers (PBDE) et des alkylphénols (AP). En conditions de temps sec, la filière de traitement de cette station est constituée d'une décantation physico-chimique lamellaire, suivie d'un traitement biologique par biofiltration sur trois étages, où sont traités le carbone et l'azote. Par temps de pluie, l'usine est alimentée par un mélange d'eaux usées et pluviales. Dans ces conditions, le traitement biologique est modifié de façon à pouvoir traiter sur l'usine des débits d'eau trois fois plus importants. Dans

cette configuration de temps de pluie, 30 % du flux est dérivé sur un seul étage et 70 % du flux est traité sur deux étages. Au cours de cette étude, quatre événements pluvieux ont été suivis. À l'instar des concentrations en matières en suspension (MES) qui augmentent entre périodes de temps sec et de temps de pluie, les résultats obtenus indiquent que les effluents de temps de pluie présentent des concentrations en AP et PBDE de 1,5 à 5 fois supérieures à celles de temps sec. Les performances du décanteur lamellaire vis-à-vis des paramètres globaux, des AP et des PBDE par temps de pluie sont élevées, voire supérieures à celles de temps sec. Une part significative de la pollution particulaire y est éliminée pour les AP (> 84 %) et les PBDE (> 87 %). La biofiltration permet d'abattre davantage ces molécules, à la fois pour les phases dissoutes (notamment pour les AP) et particulaires (> 60 %). À l'exception de la pollution azotée et du BDE-209, la modification de l'unité de biofiltration par temps de pluie semble avoir peu d'impact sur l'élimination des paramètres globaux et des polluants organiques.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 10, pages 17-24

### **Contamination des eaux usées par les perturbateurs endocriniens en France : développement pour l'analyse du triclosan, du triclocarban et des parabènes** D. GEARA-MATTA, C. LORGEUX, V. ROCHER, G. CHEBBO, R. MOILLERON

Le triclosan (TCS), le triclocarban (TCC) et les parabènes (esters de l'acide para-hydrobenzoïque) sont employés en tant qu'antiseptiques et agents conservateurs dans les produits de soins corporels. Leur usage génère des inquiétudes sur leur devenir et leur effet potentiel sur la faune et la flore. En effet, ils sont introduits dans le milieu récepteur principalement via les effluents des stations d'épuration (STEP) et les rejets urbains de temps de pluie. Un protocole analytique, permettant la détermination simultanée des deux bactéricides TCS et TCC et des six parabènes méthylparabène (MeP), éthylparabène (EtP), propylparabène (PrP), butylparabène (BuP), isobutylparabène (IsoBuP) et benzylparabène (BzP) dans la phase dissoute d'échantillons d'eaux usées en entrée de station d'épuration, a été validé – extraction sur phase solide (SPE) et analyse en chromatographie liquide ultra haute performance couplée à un spectromètre de masse en tandem (UPLC/MS/MS). Les rendements d'extraction, optimisés pour les eaux usées, sont compris entre 84 et 105 % suivant le composé. L'analyse sur la phase particulaire est en cours de validation. Les niveaux de concentration du TCS, du TCC et des parabènes ont été déterminés à l'occasion de quatre campagnes sur les effluents des cinq émissaires de la station d'épuration Seine aval, en région parisienne. Des échantillons moyens sur 24 heures ont été prélevés, proportionnellement au débit dans des flacons en plastique dont la nature a été testée. La concentration maximale retrouvée est de 21 423 ng/L, 4 735 ng/L, 3 886 ng/L, < limite de quantification (LQ), 221 ng/L et 1 236 ng/L pour le MeP, EtP, PrP, BzP, IsoBuP et BuP, respectivement. Le TCS et le TCC ont été observés à des concentrations de 1 386 ng/L et <LQ, respectivement.

Techniques Sciences et Méthodes – n° 11, pages 43-52

### **Bisphénol A : premiers résultats sur le bassin de la Seine**

M. CLADIÈRE, J. GASPERI, C. LORGEUX, C. BONHOMME, V. ROCHER, M. TROUPEL, B. TASSIN  
Le 2, 2-bis(4-hydroxyphényle) propane ou bisphénol A (BPA) est un composé de synthèse utilisé majoritairement dans la formulation de plastique poly carbonate (DVD, matériaux de construction) et de résines de type époxyde (surface interne des cannettes et boîtes de conserve). Malgré la reconnaissance du bisphénol A comme perturbateur endocrinien, et sa forte médiatisation du fait de sa présence dans certains biberons, les données aujourd'hui disponibles sur les niveaux de contamination en bisphénol A de différentes matrices environnementales sont limitées, particulièrement en France. Dans ce contexte, le Laboratoire eau environnement et systèmes urbains (Leesu) étudie, dans le cadre des programmes de recherche Opur et Piren-Seine, les niveaux de contamination des eaux urbaines et naturelles par le bisphénol A. Les premiers résultats obtenus sur les phases dissoutes ont permis de révéler des niveaux de contamination allant de 562 à 2 100 ng/L dans les eaux usées (n = 5) et les rejets urbains de temps de pluie (n = 8) et de 19 à 157 ng/L dans les rejets des stations d'épuration de la région parisienne (n = 19). En outre, les concentrations trouvées dans la Seine (n = 11) présentent une évolution entre les secteurs amont (18 ng/L) et aval (40 à 62 ng/L). Un premier bilan entre les flux annuels déversés (rejets de stations d'épuration et déversoirs d'orage) et le flux annuel exporté à l'aval de l'agglomération parisienne semble indiquer que les sources liées à l'assainissement ne représenteraient, à l'échelle annuelle, que 12 % de la contamination observée dans la Seine.

L'Eau, l'Industrie, les Nuisances – n° 344, pages 106-112

### **Conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification des eaux usées. Importance des apports en phosphore**

V. ROCHER, P. MECHE, S. RECHDAOUI, C. PAFFONI, A. GONÇALVES, S. AZIMI

Cet article vise à apporter des informations sur les conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification aval des eaux usées par biofiltration. Plus précisément, il aborde la question de l'influence des apports en phosphates sur l'apparition de nitrites dans les eaux dénitrifiées. Nos résultats ont montré qu'au cours de la dénitrification, la biomasse consomme en moyenne 0,02-0,03 mg P. mg N-NO<sub>x</sub> éliminé. Ainsi, le maintien d'un ratio P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 0,03 dans les eaux nitrifiées alimentant l'étape de dénitrification permet d'assurer une dénitrification efficace tout en limitant les concentrations en phosphates résiduels dans les eaux dénitrifiées. L'étude plus fine de la consommation en phosphates a montré que la biomasse peut se comporter comme une véritable « éponge à phosphates » en retenant de manière très efficace les phosphates lorsqu'ils sont en excès dans le milieu réactionnel ; les consommations pouvant atteindre 0,05-0,06 mg P. mg N-NO<sub>x</sub> éliminé dans ces situations d'excès. À l'inverse, les expérimentations en pilote de laboratoire ont montré que la biomasse est capable d'éliminer une quantité d'azote importante en l'absence de phosphates dissous. La biomasse épuratrice est donc peu réactive aux variations de phosphates dans le milieu réactionnel. Une instabilité des apports en phosphates, induisant des périodes de carence temporaire en phosphates, ne provoquera pas nécessairement de dysfonctionnement de la dénitrification et d'apparition de nitrites dans le rejet. Cependant, la carence en phosphates peut constituer un facteur aggravant si les unités de dénitrification reçoivent des charges appliquées en azote trop importantes. Dans cette situation, le ralentissement des cinétiques de dénitrification induit par la limitation des apports en phosphore accentue le phénomène d'apparition des nitrites provoqué par l'application de charges excessives en azote.

L'Eau, l'Industrie, les Nuisances – n° 344, pages 97-105

### **Conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification des eaux usées. Importance des apports en substrat carboné**

V. ROCHER, C. PAFFONI, A. GONÇALVES, S. RECHDAOUI, S. AZIMI, A. PAUSS

Cet article vise à apporter des informations sur les conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification aval des eaux usées par biofiltration. Plus précisément, il aborde la question de la gestion des apports en substrat carboné. Nos résultats ont montré que les nitrites apparaissent lorsque l'on applique un ratio C/N compris entre 2 et 3, avec un pic de concentration observé à 2,4-2,5. Dans cette situation de sous-dosage en méthanol, l'apport de carbone est suffisant pour être à l'origine d'une production de nitrites dans les couches basses des massifs filtrants mais insuffisant pour permettre leur élimination totale dans la partie supérieure des massifs. Le ratio optimal qui permet l'élimination totale des nitrates sans apparition de nitrites et sans augmentation significative de la DBO résiduelle est de l'ordre de 3-3,2. Cette étude a également souligné la nécessité d'injecter le méthanol de manière à maintenir un rapport C/N constant au sein du biofiltre ; la fluctuation de ce ratio pouvant être à l'origine de l'apparition des nitrites. Or, le mode de régulation du méthanol sous consigne, régulièrement employé sur les installations, ne permet pas de stabiliser le ratio C/N lorsque la concentration en nitrates de l'effluent accepté sur les ouvrages varie significativement.

L'Eau, l'Industrie, les Nuisances – n° 344, pages 92-96

### **Conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification des eaux usées. Importance de la charge azotée appliquée**

V. ROCHER, C. PAFFONI, A. GONÇALVES, C. BRIAND, S. AZIMI

Cet article vise à apporter des informations sur les conditions d'apparition des nitrites lors de la dénitrification aval des eaux usées par biofiltration. Plus précisément, il aborde la question de la gestion des charges appliquées en azote. Notre étude a montré que la charge appliquée en azote constituait un facteur clé à prendre en compte pour éviter la présence de nitrites résiduels. L'application de charge azotée trop importante provoquera inévitablement l'apparition de nitrites résiduels dans les eaux traitées, et cela même dans des conditions de fonctionnement optimisées (C/N, P/N optimisés). Au regard des résultats obtenus, il semble que la charge limite au-dessus de laquelle il semble très difficile de maintenir un résiduel de nitrites inférieur à 1 mg N.l<sup>-1</sup> se situe entre 2,5 et 2,8 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.m<sup>-3</sup>.j<sup>-1</sup>. La détermination plus précise de cette charge limite est délicate dans la mesure où l'apparition de nitrites est aussi dépendante d'autres facteurs tels que la température de l'eau.

**La production de nitrites lors de la dénitrification des eaux usées : un sujet sensible et complexe !**

V. ROCHER, E. GARCIA-GONZALEZ, C. PAFFONI, W. THOMAS

Le problème posé par les nitrites dans les eaux de surface de l'agglomération parisienne est aujourd'hui reconnu par l'ensemble des acteurs de l'eau en Ile-de-France (Agence de l'Eau Seine Normandie, Service Public de l'Assainissement Francilien, etc.). Les stations d'épuration, et en particulier celles conçues pour assurer un traitement complet de l'azote par biofiltration (nitrification + dénitrification), ont été identifiées comme des sources potentielles de cette espèce azotée. Dans ce contexte, la Direction du Développement et de la Prospective du SIAAP a initié un projet de recherche visant à cerner précisément les mécanismes d'apparition des nitrites au cours de la dénitrification des eaux usées. L'objectif de ce projet est d'établir clairement les liens existant entre les conditions d'exploitation des ouvrages et l'apparition des nitrites dans les eaux traitées. Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet sont synthétisés dans ce dossier composé de trois articles techniques respectivement consacrés à l'influence des trois leviers d'exploitation sur l'apparition des nitrites : (1) la charge appliquée en azote, (2) les apports en substrats carbonés et (3) les apports en phosphore. Cet article introductif de ce dossier vise à présenter le contexte technico-réglementaire de cette problématique « nitrites » ainsi qu'à décrire la démarche suivie dans le cadre de ce projet.

**De nouveaux outils de dosage du PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> et de la DBO dans les eaux résiduaires urbaines ?**

V. ROCHER, P. MECHE, S. RECHDAOUI, C. PAFFONI, A. GONÇALVES, S. PICHON, A. PAUSS

La Direction du Développement et de la Prospective du SIAAP a testé deux nouvelles méthodes de mesure rapide des phosphates (Analyse-P<sup>®</sup>) et de la Demande Biochimique en Oxygène (Enverdi<sup>®</sup>) qui, de par leur simplicité, leur rapidité et leur coût limité, pourraient intégrer la boîte à outils des services techniques en charge du suivi des stations d'épuration. Nos résultats ont montré que ces deux méthodes de dosage rapide semblent être suffisamment performantes pour être utilisées pour des effluents de sortie de station d'épuration faiblement concentrés en phosphates (0,10,5 mg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.l<sup>-1</sup>) et en DBO (10-20 mg O<sub>2</sub>.l<sup>-1</sup>).

**Vieillessement des unités de biofiltration des eaux usées : bilan après 10 années de fonctionnement**

S. AZIMI, P. FERREIRA, V. ROCHER, C. PAFFONI, A. GONÇALVES

Depuis plus de 10 ans, le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP), en charge du transport et de l'épuration des eaux usées, utilise des unités de biofiltration dans ses stations d'épuration. Le développement important de ce procédé au sein des usines parisiennes a incité les ingénieurs et chercheurs du SIAAP à étudier largement ce procédé afin d'en cerner précisément les performances et les limites. Ainsi, l'état général des ouvrages de biofiltration de la station Seine centre (Colombes, 800 000 équivalents habitants) a été examiné. Les différents biofiltres de cette usine (Biofor<sup>®</sup> et Biostyr<sup>®</sup>) ont été vidangés et inspectés afin d'évaluer précisément l'état d'usure des différents organes après plus de 10 années d'exploitation. Globalement, les biofiltres fonctionnent de manière très satisfaisante et permettent de maintenir des rendements d'élimination en adéquation avec les contraintes environnementales et réglementaires. Les expertises ont montré qu'avec des modifications mineures de certains équipements, dès la conception, et un mode de conduite adapté, les interventions de maintenance pouvaient n'être réduites qu'à un simple appoint en média filtrant.

## Publiées en 2010

**Polluants prioritaires dans les eaux de surface : qu'en est-il de la Seine à Paris ?**

J. GASPERI, S. GARNAUD, V. ROCHER, R. MOILLERON

L'adoption en France de la directive cadre sur l'eau (DCE) se traduit actuellement à l'échelle de chaque bassin hydrologique par la révision des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux. Dans le cadre de cette révision, des programmes de surveillance ont été mis en place fin 2006 afin de s'assurer, par le suivi de l'état des eaux et des milieux aquatiques, que les objectifs de « bon état écologique » seront bien respectés. Entre juillet 2007 et décembre 2008, des campagnes de mesures ont été mises en œuvre par la ville de Paris avec le soutien financier de l'agence de l'eau Seine-Normandie sur les eaux de surface et les particules sédimentables le long de l'axe fluvial Seine en région parisienne (d'Orly à Clichy). Les 42 substances recensées par la DCE ont systématiquement été recherchées sur les échantillons et 20 composés jugés pertinents ont été ajoutés pour les particules sédimentables. Ces campagnes de mesure ont confirmé que de nombreuses substances prioritaires (notées \*) sont présentes dans les particules sédimentables et, dans une moindre mesure, dans les eaux de surface. Dans les eaux de surface, 18 substances dont 15 dangereuses prioritaires sont observées, mais les concentrations n'excèdent que rarement les limites de quantification. Seuls le diuron\*, le DEHP\*, le fluoranthène et le paratert – octylphénol\* sont fréquemment observés à des concentrations variant de < 0,01 à 1,0 µg/l. Pour les particules sédimentables, 35 substances ont été observées. En l'absence de critère d'évaluation de qualité pour les particules sédimentables, les teneurs mesurées dans les particules ont été comparées, à titre indicatif, aux recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments. Au regard de ces recommandations, les particules collectées en Seine apparaissent assez fortement contaminées puisque la plupart des échantillons présentent des niveaux supérieurs aux valeurs guides de qualité (18 substances) et, dans de nombreux cas, supérieurs aux concentrations produisant un effet probable (15 composés). Les dépassements sont essentiellement imputables aux métaux, aux hydrocarbures aromatiques polycycliques et aux polychlorobiphényles.

**Simulation du comportement d'unités de biofiltration des eaux usées**

G. SAMIE, P. LESSARD, V. ROCHER

L'usage de la modélisation pour aider à exploiter ou à concevoir des systèmes d'épuration est de plus en plus fréquent. Cependant, dans le cas de la biofiltration, peu de modèles accessibles existent. L'objectif de cette étude est de vérifier l'applicabilité d'un logiciel commercial à différents types de biofiltres et de simuler le comportement des composés solubles et particuliers sur une chaîne de traitement par biofiltration. La station Seine centre du SIAAP, située à Colombes (France), a été choisie. Elle met en œuvre des biofiltres secondaires de type Biofor, des biofiltres tertiaires nitrifiants de type Biostyr et des biofiltres dénitrifiants de type Biofor. Une base de données de six ans, comprenant les concentrations journalières en plusieurs points de la station pour les principaux polluants – matières en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, azote total Kjeldahl (NTK) –, a été utilisée. Le logiciel de modélisation choisi pour cette étude est GPS-X, couramment utilisé dans l'industrie. Ce simulateur propose un module de biofiltration complet, qui est composé de cinq sous-modèles : biofilm, réactions biologiques, filtration, hydraulique et lavage. Les paramètres du modèle ont été étudiés afin de déterminer leur influence sur la réponse en sortie, ce qui a permis de construire un diagramme de calage. Le modèle a été calé et validé pour simuler la chaîne de biofiltres de la station Seine centre, en temps sec puis en temps de pluie, dans une configuration différente.



### Exploitation des unités de biofiltration des eaux résiduaires urbaines.

#### Gestion des périodes de redémarrage

V. ROCHER, C. PAFFONI, A. GONÇALVES, S. AZIMI, V. LEGAIGNEUR

Le traitement des eaux par biofiltration est une technologie intégrée dans la plupart des stations d'épuration implantées en région parisienne. Le développement de ce procédé au sein des usines parisiennes a incité les équipes du SIAAP à étudier les finesses et les difficultés liées à l'exploitation de ces cultures fixées. Dans ce contexte, une étude sur la gestion des périodes de remise en route des biofiltres a été menée. L'objectif est de proposer des stratégies de redémarrage des unités de biofiltration permettant d'assurer un retour rapide des performances épuratoires nominales. Ce rétablissement rapide des performances est essentiel dans la mesure où le fonctionnement en régime dégradé induit une altération de la qualité des eaux rendues au milieu naturel.

### Estimation simultanée et en ligne de nitrates et nitrites par identification

#### spectrale UV en traitement des eaux usées

H.N. PHAM, S. MOTTELET, O. SCHOEFS, A. PAUSS, V. ROCHER, C. PAFFONI, F. MEUNIER, S. RECHDAOUI, S. AZIMI

La Directive-cadre sur l'Eau impose aux États membres de l'Union européenne de restaurer le bon état écologique et chimique des masses d'eau superficielle dans un délai de 15 ans. Dans le cas des composés azotés, les seuils à ne pas dépasser dans le milieu naturel ont été fixés à 2 mg. L<sup>-1</sup>, 0,5 mg. L<sup>-1</sup>, 0,3 mg. L<sup>-1</sup> et 50 mg. L<sup>-1</sup>, respectivement pour l'azote Kjeldahl (NK), l'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), l'azote nitreux (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et l'azote nitrique (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). L'atteinte de ces objectifs de qualité suppose que les traiteurs d'eau usée soient capables de maîtriser et de contrôler les concentrations en azote nitrique et nitreux dans les eaux de rejet des stations d'épuration. Or, si les dispositifs de mesure UV actuellement utilisés permettent de mesurer ces deux espèces, ils ne permettent pas de les discriminer. Dans ce contexte, les équipes de chercheurs de l'Université Technologique de Compiègne et du Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne ont mené une étude visant à tester et améliorer les dispositifs de mesure en ligne des NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Plus précisément, un spectrophotomètre en ligne prototype discriminant les concentrations spécifiques en nitrates et nitrites a été testé et validé en conditions réelles sur une station d'épuration du SIAAP (Seine centre – Colombes – 800 000 eq-habitants). Les résultats obtenus ont montré de bonnes corrélations entre les valeurs estimées et expérimentales, dans la gamme de 0,5 à 18 mg-N.L<sup>-1</sup> pour les nitrates et de 0,5 à 5 mg-N.L<sup>-1</sup> pour les nitrites. La discrimination entre les teneurs de nitrates et nitrites provient plus du traitement mathématique du spectre ultra-violet que de la résolution du spectrophotomètre. L'optimisation et l'amélioration du logiciel d'identification spectrale sont étudiées, au regard des méthodes d'identification du type PCR (Principal Component Regression) et PLS (Partial Least Squares), qui donnent des résultats globalement comparables.

### Dynamique de la colonisation du massif filtrant d'une unité de dénitrification des eaux usées par biofiltration

S. AZIMI, V. ROCHER, C. PAFFONI, A. GONÇALVES, M. GOUSAILLES

Le principe de la biofiltration repose sur l'utilisation d'un matériau filtrant de type granulaire colonisé par la biomasse épuratrice et à travers lequel transite l'eau à traiter. Au cours de la filtration, le matériau support est colonisé par la biomasse épuratrice et piège les particules en suspension non captées lors des traitements amont. Ces phénomènes qui s'opèrent conjointement induisent une diminution de la porosité qui se traduit par une augmentation de la perte de charge hydraulique. La gestion de la perte de charge a rapidement été identifiée comme un point sensible de la biofiltration. Ainsi, depuis plus de 15 ans, les ingénieurs et chercheurs du Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) étudient ces phénomènes de pertes de charge sur installations pilotes et sur sites industriels. Très récemment, des travaux de recherche ont été menés à l'échelle industrielle sur la station d'épuration Seine centre (Colombes, 800 000 eq-hab / 240 000 m<sup>3</sup>.j<sup>-1</sup>). Ces expérimentations, menées sur les unités de biofiltration destinées à la dénitrification des eaux usées, visent à apporter des informations sur les mécanismes de colonisation du matériau par la biomasse épuratrice et sur le potentiel épuratoire des différentes couches du biofiltre.

## Publiées en 2009

### Le glycérol sous-produit du biocarburant pour dénitrifier les eaux usées par biofiltration : retour d'expérience du SIAAP

V. ROCHER, S. AZIMI, C. PAFFONI, A. GONÇALVES, A. DANNAPPE, V. JOACHIM, T. THOMASSET, J. DUPONT

La production européenne des esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV), biocarburant destiné à la consommation des moteurs diesel, est aujourd'hui en plein essor. Cet essor s'accompagne d'un accroissement des quantités disponibles de glycérol, principal sous-produit de fabrication de ce biocarburant. Dans ce contexte, le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne a mené des expérimentations à l'échelle du laboratoire (tests en réacteur) et à l'échelle industrielle (essais sur la station d'épuration Seine centre – 800 000 équivalents habitants) visant à déterminer si ce composé constituait une source de carbone utilisable lors de l'étape de dénitrification des eaux usées. Ces travaux de R&D ont montré que les performances épuratoires atteintes avec ce substrat étaient du même ordre que celles obtenues avec le méthanol, actuellement employé sur les stations d'épuration. En revanche, les essais industriels ont permis de constater que l'injection de glycérol sur les unités de biofiltration provoquait un encrassement excessif des massifs filtrants incompatible avec un fonctionnement correct des ouvrages. Cet encrassement est lié à la colonisation des massifs filtrants par un réseau dense et cohésif de filaments mycéliens, plus précisément des champignons *Geotrichum candidum* et *Mucor hiemalis*. Les problèmes d'exploitation engendrés par ces organismes filamenteux apparaissent récurrents et ne semblent pas permettre l'utilisation du glycérol comme source de carbone sur les unités de dénitrification par biofiltration.

### Qualité bactériologique des eaux de la région parisienne : de l'eau d'égout au milieu récepteur

A. GONÇALVES, V. ROCHER, S. PICHON

Depuis de nombreuses années, le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP), en charge du transport et du traitement des eaux usées de 8,5 millions de Franciliens, contrôle la qualité microbiologique des eaux de ses cinq stations d'épuration et des eaux du milieu aquatique recevant leurs rejets. Ce suivi a permis d'établir, pour les cinq dernières années (2003-2007), un bilan des niveaux de contamination globale de ces eaux à l'échelle de l'agglomération parisienne. Ainsi, si la composition bactérienne des eaux brutes est relativement constante, celle des eaux rejetées dans le milieu naturel se révèle beaucoup plus variable. Cette différence est liée à l'efficacité épuratoire des stations. L'intégration de filières de traitement complètes, éliminant efficacement le carbone, l'azote et le phosphore, permet de réduire très fortement les charges bactériennes rejetées (réduction d'un facteur 200 à 1 000). Par contre, lorsque le traitement est partiel, les abattements sont beaucoup plus modérés. Globalement, le milieu récepteur subit un enrichissement bactérien d'amont en aval de l'agglomération parisienne. Si cet enrichissement est partiellement imputable aux rejets des usines d'épuration, d'autres apports contribuent à la dégradation du milieu naturel. Ainsi, les rejets de temps de pluie (RUTP, by-pass, lessivage, etc.), dont l'impact local et épisodique est évident, contribuent aussi à l'enrichissement global du fleuve. Par conséquent, en période de débits importants, se produisant fréquemment lors de fortes précipitations, les niveaux de contamination globaux peuvent être plus importants qu'en période de faibles débits.

### Exploitation des unités de biofiltration des eaux résiduaires urbaines.

#### Gestion des périodes d'arrêt

V. ROCHER, C. PAFFONI, A. GONÇALVES, S. AZIMI, V. LEGAIGNEUR

Le traitement des eaux par biofiltration est une technologie intégrée dans la plupart des stations d'épuration implantées en région parisienne. Le développement de ce procédé au sein des usines parisiennes a incité les équipes du SIAAP à étudier les finesses et les difficultés liées à l'exploitation de ces cultures fixées. Dans ce contexte, une étude sur la gestion des périodes d'arrêt des biofiltres a été menée. Ces périodes transitoires, durant lesquelles le biofiltre est transformé en un réacteur fermé (absence d'apport de substrats et pas de renouvellement de l'eau), peuvent être à l'origine de déséquilibres biologiques importants susceptibles de compromettre le re-démarrage futur des installations. Cet article, rédigé en s'appuyant sur l'expérience acquise lors des arrêts de nos installations, propose donc une stratégie de gestion de ces périodes d'arrêt.

## Publiée en 2008

### Polluants prioritaires dans les eaux usées et les rejets urbains de temps de pluie

J. GASPERI, S. GARNAUD, V. ROCHER, R. MOILLERON

L'adoption en France de la directive cadre européenne se traduit actuellement, à l'échelle de chaque bassin hydrologique, par la révision des Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (Sdage). Dans le cadre de cette révision, des programmes de surveillance ont été mis en place fin 2006 afin de s'assurer, par le suivi de l'état des eaux et des milieux aquatiques, que les objectifs seront bien respectés, que les actions mises en œuvre pour atteindre les objectifs seront suffisamment efficaces et que toute source d'altération de l'état des milieux aquatiques pourra être identifiée. À ce titre, les eaux usées et les rejets urbains de temps de pluie (RUTP), considérés comme une source probable d'altération du milieu naturel, devaient donc être étudiés. Cet article a pour but de présenter les résultats obtenus dans le cadre des campagnes de mesures initiées par la ville de Paris, avec le soutien de l'agence de l'eau Seine-Normandie, sur les eaux usées et les RUTP, au sein du réseau d'assainissement unitaire parisien. Sa finalité est d'examiner l'occurrence des substances prioritaires et l'importance de leur concentration dans ces effluents. Ce travail confirme, avant tout, qu'un nombre important de substances prioritaires sont présentes dans les eaux usées et les RUTP. Parmi les 66 substances recherchées, 33 et 40 d'entre elles ont respectivement été observées dans les deux types d'effluents. Comme attendu, la plupart des métaux a été très souvent quantifiée, confirmant ainsi leur omniprésence. Pour les chlorobenzènes et la plupart des produits phytosanitaires, les concentrations mesurées dans les eaux usées et les RUTP sont inférieures aux limites de quantification (variant de 0,01 à 0,06 µg/l), tandis que la majorité des autres polluants organiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), organoétains, composés organiques volatils, phtalates et alkylphénols) présentent globalement des concentrations de l'ordre du µg/l. Par temps de pluie, des concentrations plus importantes ont été constatées pour certains métaux, pour les HAP de trois à quatre cycles aromatiques, quelques produits phytosanitaires et les organoétains.

## Publiées en 2007

### Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques introduits dans le réseau d'assainissement via les effluents domestiques.

J. GASPERI, V. ROCHER, S. AZIMI, R. MOILLERON, G. VARRAULT, S. GARNAUD, G. CHEBBO

Depuis 1994, diverses recherches visant à comprendre le transfert des micropolluants en zone urbaine et en particulier, leurs Voies d'Introduction dans le Réseau d'Assainissement (VIRA) ont été initiées au CERREVE (programme de recherche OPUR « Observatoire des Polluants Urbains »). Cette étude complète les précédents travaux et a pour objectif de caractériser quantitativement et qualitativement la pollution en hydrocarbures aliphatiques (HA) et aromatiques (HAP) pénétrant dans le réseau via les apports directs, c'est-à-dire les effluents directement injectés dans le réseau par temps sec (effluents domestiques stricts et effluents domestiques plus ou moins contaminés par les activités de restauration ou de garage). L'étude quantitative a permis d'estimer les concentrations en hydrocarbures dans ces divers effluents et d'évaluer les flux d'hydrocarbures pénétrant dans le réseau d'assainissement via ces effluents. Il a ainsi été montré que les concentrations médianes en HA et HAP sont comprises entre 200-300 et 0,9-1,4 µg.l<sup>-1</sup>. À l'échelle du bassin-versant du Marais (centre de Paris, 42 ha, environ 13000 habitants), les quantités de micropolluants pénétrant quotidiennement dans le réseau d'assainissement via les effluents strictement domestiques ont été estimées à 600-1600 g et 2,1-4,5 g, respectivement pour les HA et les HAP. L'étude qualitative a montré que les distributions en HA et HAP des eaux usées transitant par temps sec à l'exutoire du bassin-versant du Marais sont similaires à celles observées dans les effluents domestiques.

### La biofiltration des eaux usées : comparatif technique et économique de différentes configurations de traitement

V. ROCHER, C. PAFFONI, A. GONÇALVES, S. AZIMI, S. WINANT, V. LEGAIGNEUR, M. GOUSAILLES

Les approches techniques et économiques du traitement des eaux usées municipales par biofiltration sont traitées dans ce document. Le résultat du traitement, qui a été évalué à partir des compétences acquises grâce à l'exploitation de l'usine du Centre de la Seine (SIAAP, Colombes), a démontré l'efficacité de la réduction biologique de la pollution carbonée et de la nitrification ( $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ ). Les concentrations de matières organiques oxydables et d'ammonium dans les eaux rejetées sont bien inférieures aux seuils réglementaires. En revanche, l'efficacité de l'étape de dénitrification ( $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$ ) dépend du mode de fonctionnement adopté. Cette réduction est complète lorsque l'étape de dénitrification a lieu en aval du traitement (dénitrification aval – substrat carboné exogène), alors qu'elle n'est que partielle lorsqu'elle est intégrée en amont du traitement (dénitrification amont – substrat carboné endogène). Ainsi, le fonctionnement de la station dans un schéma incluant uniquement une dénitrification en amont peut être envisagé et le traitement doit alors être complété par une étape de post-dénitrification (combinaison de dénitrifications en amont et en aval). L'étude des coûts d'exploitation a révélé la caractéristique économique du procédé de traitement combinant des dénitrifications en amont et en aval. Les performances de la station dans cette configuration se traduisent par des coûts d'exploitation inférieurs de 5 à 10 % à ceux du système conventionnel intégrant uniquement une dénitrification en aval.

## Publiées en 2006

Techniques Sciences et Méthodes – n° 10, pages 105-125

### **Le traitement des eaux usées par biofiltration : cas de la station Seine centre (SIAAP)**

V. ROCHER, C. PAFFONI, A. GONÇALVES, V. LEGAIGNEUR, A. DUTOT, M. GOUSAILLES

Le principe de la biofiltration repose sur l'utilisation d'un matériau filtrant de type granulaire immergé (aéré ou non) sur lequel se développent des populations bactériennes qui vont dégrader la charge polluante apportée par l'effluent. Cette technologie caractérisée par son extrême compacité et sa modularité, est adaptée aux stations d'épuration implantées en zone fortement urbanisée. Ainsi, la station d'épuration Seine centre du SIAAP, implantée en 1998 à proximité de Paris, présente une filière de traitement biologique composée de trois étages de biofiltres permettant l'élimination de la pollution carbonée et azotée (nitrification-dénitrification). Cet article synthétise les principaux enseignements tirés de l'exploitation de cette station au cours de ces dernières années. Ainsi, il a été montré que l'élimination efficace de la pollution carbonée, essentiellement réalisée sur le 1<sup>er</sup> étage, limite considérablement le rejet de polluants organiques, et notamment de matière organique facilement biodégradable, dans le milieu récepteur. De la même manière, le traitement de la pollution azotée est performant. L'azote ammoniacal est éliminé dans sa quasi-totalité au cours du processus de nitrification initié sur le 1<sup>er</sup> étage (production de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 0,2 kg N/m<sup>3</sup>/J) et intensifié sur le 2<sup>e</sup> étage (production de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 0,7 kg N/m<sup>3</sup>/J). La dénitrification, fortement influencée par le ration C/N (DCO<sub>5</sub>/N- NO<sub>3</sub><sup>-</sup> optimal de l'ordre de 4), est, elle aussi, efficace (taux d'abattement médian de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 83%). Ces performances épuratoires permettent le maintien d'un faible niveau de contamination des eaux de rejet ([NH<sub>4</sub><sup>+</sup>] et [NO<sub>3</sub><sup>-</sup>]) respectivement de 0,5 à 4 mg N/L compatible avec les seuils fixés par les stations implantées en zone sensible. Le bilan économique, dressé parallèlement à l'étude technique, a permis d'évaluer le coût de fonctionnement de la biofiltration à environ 37 €/1 000 m<sup>3</sup> d'eau biofiltrée et a souligné l'impact économique majeur de l'injection de méthanol lors de la post-dénitrification (40 % du coût total de la biofiltration).

Techniques Sciences et Méthodes – n° 11, pages 97-105

### **Identification des sources de micropolluants en milieu urbain. Intérêt des hydrocarbures aliphatiques**

J. GASPERI, V. ROCHER, R. MOILLERON, G. CHEBBO

Les hydrocarbures aliphatiques s'avèrent des traceurs intéressants dans l'identification des sources en milieu urbain puisque leur degré de spécificité et leur distribution relative autorisent l'identification et le suivi de nombreuses sources génératrices d'hydrocarbures. En effet, la fraction aliphatique assure non seulement une discrimination entre les sources biologiques, pétrolières et pyrolytiques, mais identifie plus ou moins précisément, dans le cas de contaminations multiples, les sources de contamination incriminées. L'investigation des sources urbaines et des « Voies d'introduction dans le réseau d'assainissement » a permis la mise en place d'une base de données importante. Cette bibliothèque constitue une véritable « boîte à outils » dans la mesure où l'identification de l'origine de la contamination se base exclusivement sur l'analyse et la confrontation des spectres et l'utilisation des indicateurs aliphatiques. L'application au réseau d'assainissement était l'intérêt de cette approche. L'analyse des signatures aliphatiques délivre des informations de natures diverses. Il a été ainsi montré que la contamination du dépôt grossier indique essentiellement des entrées pétrolières (particules d'échappement et dans une moindre mesure huiles lubrifiantes) alors que la pollution de la couche organique et le biofilm reflète la combinaison des apports biologiques et pétroliers. L'étude des spectres aliphatiques dévoile également l'étroite similitude entre les eaux usées de temps sec, les apports domestiques et la couche organique. Enfin, une estimation du degré de dégradation des hydrocarbures aliphatiques dans les dépôts a confirmé que le temps de résidence dans le réseau de la couche organique et du biofilm est court comparativement à celui du dépôt grossier. Ce travail s'est attaché à démontrer l'intérêt des hydrocarbures aliphatiques dans l'identification des sources en milieu urbain. Ils sont souvent négligés par les études environnementales et il apparaît nécessaire d'élargir le spectre de molécules couramment analysées aux n-alcane afin d'améliorer le processus d'identification des sources de contamination.

## Publiées en 2003

Techniques Sciences et Méthodes – n° 10, pages 75-86

### **Pollution métallique associée au dépôt du réseau d'assainissement de la ville de Paris**

V. ROCHER, S. AZIMI, S. GARNAUD, R. MOILLERON, G. CHEBBO

Ce programme de recherche, mené en collaboration avec la Section d'Assainissement de Paris, vise à améliorer les connaissances sur la pollution métallique associée aux dépôts du réseau d'assainissement parisien. Les teneurs en Ce, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb et Zn ont été mesurées dans les sédiments extraits de 40 bassins de dessablement (BD) couvrant la totalité du réseau. Nos résultats ont montré que les teneurs de la plupart des éléments métalliques fluctuaient sur l'ensemble du réseau probablement en fonction de la présence de sources de pollution plus localisées (toitures métalliques, axes routiers majeurs, etc.) De plus, le prélèvement systématique de 6 échantillons de sédiments dans chaque BD nous a permis d'évaluer la variabilité intra-bassin des teneurs. Nous avons mis en évidence que la dispersion des teneurs, bien que fluctuante d'un BD à l'autre, est globalement importante. Enfin, la comparaison des niveaux de pollutions mesurés dans le dépôt avec les valeurs limites d'acceptation des sables d'une des principales sociétés de traitement de déchets d'assainissement a mis en exergue les difficultés auxquelles sont confrontés les gestionnaires. Compte tenu des fluctuations inter-BD et intra-BD, le gestionnaire peut difficilement assurer la conformité de son déchet avec les conditions d'acceptation dans la filière de traitement.

La Houille Blanche – n° 6- 9 pages

### **Hydrocarbures et métaux lourds associés aux sédiments de stations de relevage de l'agglomération parisienne**

V. ROCHER, J. GASPERI, S. AZIMI, T. CELAUDON, R. MOILLERON, G. CHEBBO

Lors des épisodes de pluie, de grandes quantités d'hydrocarbures (aliphatiques et aromatiques) et de métaux lourds pénètrent dans l'égout unitaire par le biais des eaux de ruissellement des toits et des routes. La diminution de ces apports, nécessaire à la réduction des débordements des égouts unitaires, nécessite la connaissance de la nature et de l'origine du polluant. Ce travail, axé sur les sédiments des stations de relevage, vise à caractériser le contenu et les empreintes des polluants associés au ruissellement routier. Les niveaux de contamination par les hydrocarbures, calculés à 80 et 24 µg.g<sup>-1</sup> dw pour les composés aliphatiques et aromatiques, sont du même ordre de grandeur que ceux rapportés dans la littérature. De même, les niveaux de contamination par les métaux lourds sont en bon accord avec les études précédentes. Néanmoins, une diminution des teneurs en Pb, induite par la récente restriction de l'émission de Pb par le trafic, et une augmentation des teneurs en Cu, probablement liée à l'apparition d'une abrasion intensive des garnitures de freins, ont été constatées. De plus, les empreintes d'hydrocarbures soulignent la variabilité de l'origine des hydrocarbures. En effet, les distributions aliphatiques reflètent la combinaison d'apports biologiques (végétaux) et pétrogènes (huiles de lubrification, essence, etc.), tandis que les distributions aromatiques indiquent une origine pyrolytique importante avec des traces de contaminations pétrogènes.

2.

---

## **Publications internationales**

Environmental Science: Water Research & Technology – September 2022

### **Biocidal substances in the Seine River: contribution from urban sources in the Paris megacity**

C. PAIJENS, D. TEDOLDI, B. FRERE, R. MAILLER, V. ROCHER, R. MOILLERON A. BRESSY

This work addresses river contamination by biocidal substances up- and downstream a megacity, with the aim of investigating the contribution of urban discharges and proposing effective and concerted mitigation solutions. To this end, ten campaigns were conducted in the two main rivers of the Paris conurbation. Eighteen previously prioritized biocides were all quantified at three sampling locations, and several were found at concentrations that may present a risk to the aquatic ecosystem (dichloroisothiazolinone, diuron, and benzalkonium C12 and C14, with concentrations up to 42, 75, 1700, and 150 ng L<sup>-1</sup>, respectively). The collected data enabled the assessment of daily mass loads of biocides (from <1 g per day to several tens of kg per day, the highest values observed being for benzalkonium C12 and C14) which were put into perspective with previously characterized loads from major urban sources. A shift in the distribution of biocide loads between up- and downstream the Paris conurbation was observed for several molecules (benzisothiazolinone, terbuthryn, and thiabendazole, the median load of which increased by a factor of 1.5 to 3), thus suggesting the contribution of urban discharges to the contamination of receiving waters by biocides. Analysing the long-term dynamics of biocides in the Seine River showed that even if the ban of several molecules as pesticides did have a noticeable impact on surface water contamination, a background pollution remained (3 < diuron < 75 ng L<sup>-1</sup>; 0.1 < isoproturon < 5.7 ng L<sup>-1</sup>), which may be related to urban inputs. Our results offer prospects for specific mitigation solutions at three scales: emissions, transport in the sewer system and treatment before discharge.

Environmental Science and Pollution Research – August 2022, 8 pages

### **Wild type and variants of SARS-CoV-2 in Parisian sewage: presence in raw water and through processes in wastewater treatment plants**

M. LOPEZ VIVEROS, S. AZIMI, E. PICHON, C. ROOSE-AMSALEG, A. BIZE, F. DURANDET, V. ROCHER

The presence of SARS-CoV-2 RNA has been extensively reported at the influent of wastewater treatment plants (WWTPs) worldwide and its monitoring has been proposed as a potential surveillance tool to early alert of epidemic outbreaks. However, the fate of the SARS-CoV-2 RNA in the treatment process of WWTP has not been widely studied yet; therefore in this study, we aimed to evaluate the efficiency of treatment processes in reducing SARS-CoV-2 RNA levels in wastewater. The treatment process of three WWTPs of the Parisian area in France were monitored on six different weeks over a period of two months (from April 14th to June 9th 2021). SARS-CoV-2 RNA copies were detected using digital polymerase chain reaction (dPCR). Investigation on the presence of variants of concern (Del69-70E484 and L452R) was also performed. Additionally, SARS-CoV-2 RNA loads in the WWTPs influents were expressed as the viral charge per population equivalent and showed a good correlation with French public health indicators (incidence rate). SARS-CoV-2 RNA loads were notably reduced along the water treatment lines of the three WWTPs studied (2.5-3.4 log). Finally, very low SARS-CoV-2 RNA loads were detected in effluents (non-detected in over half of the samples) which indicated that the potential health risk of the release of wastewater effluents to the environment is probably insignificant, in the case of WWTPs enabling an efficient biological removal of nitrogen.

Environmental Research – August 2022

### **Fate of SARS-CoV-2 coronavirus in wastewater treatment sludge, during storage and thermophilic anaerobic digestion**

S. GUERIN-RECHDAOUI, A. BIZE, C. LEVESQUE-NINIO, A. JANVIER, C. LACROIX, F. LE BRIZOUAL, J. BARBIER, C. ROOSE AMSALEGE, S. AZIMI, V. ROCHER

Since the COVID-19 outbreak has started in late 2019, SARS-CoV-2 has been widely detected in human stools and in urban wastewater. No infectious SARS-CoV-2 particles have been detected in raw wastewater until now, but it has been reported occasionally in human stools. This has raised questions on the fate of SARS-CoV-2 during wastewater treatment and notably in its end-product, wastewater treatment sludge, which is classically valorized by land spreading for agricultural amendment. In the present work, we focused on SARS-CoV-2 stability in wastewater treatment sludge, either during storage (4°C, room temperature) or thermophilic anaerobic digestion (50°C). Anaerobic digestion is one of the possible processes for sludge valorization. Experiments were conducted in laboratory pilots; SARS-CoV-2 detection was based on RT-quantitative PCR or RT-digital droplet PCR. In addition to SARS-CoV-2, Bovine Coronavirus (BCoV) particles were used as surrogate virus. The RNA from SARS-CoV-2 particles, inactivated or not, was close to the detection limit but stable in wastewater treatment sludge, over the whole duration of the assays at 4°C (55 days) and at ambient temperature (~20°C, 25 days). By contrast, the RNA levels of BCoV and inactivated SARS-CoV-2 particles decreased rapidly during the thermophilic anaerobic digestion of wastewater treatment sludge lasting for 5 days, with final levels that were close to the detection limit. Although the particles' infectivity was not assessed, these results suggest that thermophilic anaerobic digestion is a suitable process for sludge sanitation, consistent with previous knowledge on other coronaviruses.

Water Science & Technology – Volume 86, Issue 3, 482-495

### **Modelling the benefits of urine source separation scenarios on wastewater treatment plants within an urban water basin**

G. MATAR, M. BESSON, J. MAS, S. AZIMI, V. ROCHER, M. SPERANDIO

Stringent discharge regulations are encouraging researchers to create innovative and sustainable wastewater treatment solutions. Urine source separation (USS) is among the potent approaches that may reduce nutrient peak loads in the influent wastewater and improve nutrient recovery. A phenomenological model was used to simulate dynamic influent properties and predict the advantages gained from implementing USS in an urban water basin. Several scenarios were investigated assuming different levels of deployment: at the entire city, or specifically in office buildings for men's urine only, or for both men and women employees. The results confirmed that all scenarios of urine source separation offered benefits at the treatment plant in terms of reducing nitrogen influent load. The economic benefits in terms of reducing energy consumption for nitrification and decreasing methanol addition for denitrification were quantified, and results confirmed environmental advantages gained from different USS scenarios. Despite larger advantages gained from a global USS rate in an entire city, implementation of a specific USS in office buildings would remain more feasible from a logistical perspective. A significant benefit in terms of reducing greenhouse gas emissions is demonstrated and this was especially due to the high level of N<sub>2</sub>O emissions avoided in nitrifying biological aerated filter.

Science of The Total Environment - Volume 848, 20 Novembre 2022, 157740

### **From Alpha to Omicron BA.2: New digital RT-PCR approach and challenges for SARS-CoV-2 VOC monitoring and normalization of variant dynamics in wastewater**

S. WURTZER, M. LEVERT, E. DHENAIN, H. ACCROMBESSI, S. MANCO, N. FAGOUR, M. GOULET, N. BOUDAUD, L. GAILLARD, I. BERTRAND, J. CHALLANT, S. MASNADA, S. AZIMI, M. GILLON-RITZ, A. ROBIN, J-M. MOUCHEL, OBEPINE SIG, L. MOULIN

Throughout the COVID-19 pandemic, new variants have continuously emerged and spread in populations. Among these, variants of concern (VOC) have been the main culprits of successive epidemic waves, due to their transmissibility, pathogenicity or ability to escape the immune response. Quantification of the SARS-CoV-2 genomes in raw wastewater is a reliable approach well-described and widely deployed worldwide to monitor the spread of SARS-CoV-2 in human populations connected to sewage systems. Discrimination of VOCs in wastewater is also a major issue and can be achieved by genome sequencing or by detection of specific mutations suggesting the presence of VOCs. This study aimed to date the emergence of these VOCs (from Alpha to Omicron BA.2) by monitoring wastewater from the greater Paris area, France, but also to model

the propagation dynamics of these VOCs and to characterize the replacement kinetics of the prevalent populations. These dynamics were compared to various individual-centered public health data, such as regional incidence and the proportions of VOCs identified by sequencing of strains isolated from patient. The viral dynamics in wastewater highlighted the impact of the vaccination strategy on the viral circulation within human populations but also suggested its potential effect on the selection of variants most likely to be propagated in immunized populations. Normalization of concentrations to capture population movements appeared statistically more reliable using variations in local drinking water consumption rather than using PMMoV concentrations because PMMoV fecal shedding was subject to variability and was not sufficiently relevant in this study. The dynamics of viral spread was observed earlier (about 13 days on the wave related to Omicron VOC) in raw wastewater than the regional incidence alerting to a possible risk of decorrelation between incidence and actual virus circulation probably resulting from a lower severity of infection in vaccinated populations.

ACS EST Water 2022 - June 2022, 1225-1233

### **High-Resolution Mass Spectrometry Screening of Wastewater Effluent for Micropollutants and Their Transformation Products during Disinfection with Performic Acid**

M. NIHEMAITI, N. HUYNH, R. MAILLER, P. MECHE-ANANIT, V. ROCHER, R. BARHDADI, R. MOILLERON, J. LE ROUX

Performic acid (PFA) is an emerging disinfectant applied for full-scale disinfection of wastewater effluent. While many studies have focused on assessing the microbial water quality during PFA disinfection, studies on the ability of PFA to oxidize organic micropollutants are still scarce. In this study, nontarget screening of wastewater secondary effluent during PFA treatment was performed using liquid chromatography–high-resolution mass spectrometry. A low dose (2 mg/L) of PFA was able to affect the organic matter composition within a short exposure time (10 min). Multivariate analysis as well as suspect screening indicated that PFA oxidation largely reduced the intensities of micropollutants with a tertiary amine moiety and led to the formation of their mono-oxygenated derivatives, N-oxides, a class of transformation products that are known as biologically stable but whose impact on aquatic organisms still needs to be assessed. Mechanistic studies were conducted on selected micropollutants (i.e., lidocaine, amisulpride, tramadol, and clarithromycin). The minimum apparent second-order rate constant of PFA with lidocaine was determined as  $7.54 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$  at pH 8.0. Lidocaine was mainly converted (~95%) into its N-oxide via direct oxygen transfer from PFA. Overall results revealed a strong electrophilic reactivity of PFA toward electron-rich moieties (e.g., amines) of micropollutants.

Bioresource Technology Reports - Volume 18, June 2022, 101114

### **Transport and retention modeling of the liquid phase through a stratified porous leach-bed. Application for solid-state anaerobic co-digestion of cattle manure and roadside grass**

A. COUTU, L. ANDRE, S. GUERIN, V. ROCHER, A. PAUSS, T. RIBEIRO

The recirculation flow inside the leach-bed during solid-state anaerobic co-digestion of layered cattle manure and roadside grass was characterized using three different methods on lab scale reactors. Tracing experiments and method of moments were used to characterize percolation flow properties with different leach-bed compositions and a new criterion was proposed to quantitatively evaluate the ratio between preferential pathways and dead volumes for each experiment. The impact of recirculation flow on leach-bed complexity for different moments of SS-AD and substrate layering was characterized using steady-state reactor modeling and the impact of recirculation flow on microporosity and macroporosity evolutions all along SS-AD was determined using modeling of hydrodispersive parameters. It appeared that layering and time could significantly impact percolation flow and leach-bed complexity, until 36% of residence time variation and 110% of leach-bed complexity. Moreover, layering could impose a different percolation flow for each layer and cause a preferential pathways disruption.

Environmental Pollution - Volume 303, 15 June 2022, 119165

### **Bioaccumulation of per- and polyfluoroalkyl substance in fish from an urban river: Occurrence, patterns and investigation of potential ecological drivers**

N. MACORPS, K. LE MENACH, P. PARDON, S. GUERIN-RECHDAOUI, V. ROCHER, H. BUDZINSKI, P. LABADIE

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are ubiquitous in aquatic environments and a recent shift toward emerging PFAS is calling for new data on their occurrence and fate. In particular, understanding the determinants of their bioaccumulation is fundamental for risk assessment purposes. However, very few studies have addressed the combined influence of potential ecological drivers of PFAS bioaccumulation in fish such as age, sex or trophic ecology. Thus, this work aimed to fill these knowledge gaps by performing a field study in the Seine River basin (France). Composite sediment and fish (European chub, *Squalius Cephalus*) samples were collected from four sites along a longitudinal transect to investigate the occurrence of 36 PFAS. Sediment molecular patterns were dominated by fluorotelomer sulfonamidoalkyl betaines (i.e. 6:2 and 8:2 FTAB, 46% of  $\Sigma$ PFAS on average), highlighting the non-negligible contribution of PFAS of emerging concern. C9–C14 perfluoroalkyl carboxylic acids, perfluorooctane sulfonic acid (PFOS), perfluorooctane sulfonamide (FOSA) and 10:2 fluorotelomer sulfonate (10:2 FTSA) were detected in all fish samples. Conversely, 8:2 FTAB was detected in a few fish from the furthest downstream station only, suggesting the low bioaccessibility or the biotransformation of FTABs.  $\Sigma$ PFAS in fish was in the range 0.22–3.8 ng g<sup>-1</sup> wet weight (ww) and 11–140 ng g<sup>-1</sup> ww for muscle and liver, respectively. Fish collected upstream of Paris were significantly less contaminated than those collected downstream, pointing to urban and industrial inputs. The influence of trophic ecology and biometry on the inter-individual variability of PFAS burden in fish was examined through analyses of covariance (ANCOVAs), with sampling site considered as a categorical variable. While the latter was highly significant, diet was also influential; carbon sources and trophic level (i.e. estimated using C and N stable isotope ratios, respectively) equally explained the variability of PFAS levels in fish.

Bioresource Technology Reports - Volume 17, February 2022, 100961

### **A coupling model for solid-state anaerobic digestion in leach-bed reactors: Mobile-Immobile water and anaerobic digestion model**

A. COUTU, M.A. HERNANDEZ-SHEK, S. MOTTELET, S. GUERIN, V. ROCHER, A. PAUSS, T. RIBEIRO

A coupling distributed solid-state anaerobic digestion model was developed and performed considering a simplified AM2 model and a saturated Mobile-Immobile water Model (MIM). This model allows considering both microporosity and macroporosity evolutions as well as the impact on biological kinetics. This model was adapted, implemented and validated on cattle manure in mesophilic conditions and carried out in a solid-state leach-bed reactor. Three 60 L sacrificial leach-bed reactors were used to determine hydrodynamics and kinetic parameters in a calibration-validation approach. A sensitivity analysis was conducted and has shown a high value of hydrolysis kinetics on outputs variables (until 92% for accumulated methane yield and 72% for volatile fatty acids accumulation) which confirmed the necessity to identify accurately the hydrolysis parameter before calibration step. Finally, the solutes present inside each mobile and immobile region evolved in a different way confirming the model relevance

Bioresource Technology Reports - Volume 17, February 2022, 100883

### **Methane yield optimization using mix response design and bootstrapping: application to solid-state anaerobic co-digestion process of cattle manure and damp grass**

A. COUTU, S. MOTTELET, S. GUERIN, V. ROCHER, A. PAUSS, T. RIBEIRO

Optimization of solid-state anaerobic digestion on cattle manure and damp grass were performed simultaneously and combined to a bootstrapping tool to significantly decrease the number of experiments for a methane yield optimization. 15 batch reactors at lab scale were launched two times respecting a mix surface response methodology. A numerical method called Bootstrapping was used to verify results significance. Results have shown a significant influence with a p-value between 10<sup>-8</sup> and 10<sup>-11</sup>: the optimal parameter values depend on the substrate composition with a maximal p-value of 5.60.10<sup>-2</sup>. The methane yield reached 156.19 NL . kgVS<sup>-1</sup> for a mixture of cattle manure and damp grass, and 142.92 NL . kgVS<sup>-1</sup> for cattle manure only. The bootstrapping were validated with a standard error lower than 3% in comparison with ANOVA method, which confirms that the mix surface response methodology combined to bootstrapping is an innovative and efficient way to optimize solid-state anaerobic digestion process.

**Modeling, simulation and control of biological and chemical P-removal processes for membrane bioreactors (MBRs) from lab to full-scale applications: State of the art**

K. NADEEM, M. ALLIET, Q. PLANA PUIG, J. BERNIER, S. AZIMI, V. ROCHER, C. ALBASI

Phosphorus (P) removal from the domestic wastewater is required to counter the eutrophication in receiving water bodies and is mandated by the regulatory frameworks in several countries with discharge limits within 1-2mgPL<sup>-1</sup>. Operating at higher sludge retention time (SRT) and higher biomass concentration than the conventional activated sludge process (CASP), membrane bioreactors (MBRs) are able to remove 70–98% phosphorus without addition of coagulant. In full-scale facilities, enhanced biological phosphorus removal (EBPR) is assisted by the addition of metal coagulant to ensure >95% P-removal. MBRs are successfully used for super-large-scale wastewater treatment facilities (capacity >100,000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>). This paper documents the knowledge of P-removal modeling from lab to full-scale submerged MBRs and assesses the existing mathematical models for P-removal from domestic wastewater. There are still limited studies involving integrated modeling of the MBRs (full/super large-scale), considering the complex interactions among biology, chemical addition, filtration, and fouling. This paper analyses the design configurations and the parameters affecting the biological and chemical P-removal in MBRs to understand the P-removal process sensitivity and their implications for the modeling studies. Furthermore, it thoroughly reviews the applications of bio-kinetic and chemical precipitation models to MBRs for assessing their effectiveness with default stoichiometric and kinetic parameters and the extent to which these parameters have been calibrated/adjusted to simulate the P-removal successfully. It also presents a brief overview and comparison of seven (7) chemical precipitation models, along with a quick comparison of commercially available simulators. In addition to advantages associated with chemical precipitation for P-removal, its role in changing the relative abundance of the microbial community responsible for P-removal and denitrification and the controversial role in fouling mitigation/increase are discussed. Lastly, it encompasses several coagulant dosing control systems and their applications in the pilot to full-scale facilities to save coagulants and optimize the P-removal performance.

Journal of Environmental Management - Volume 301, 1 January 2022, 113866

**First evidence of SARS-CoV-2 genome detection in zebra mussel (*Dreissena polymorpha*)**

A. LE GUERNIC, M. PALOS LADEIRO, N. BOUDAUD, J. DO NASCIMENTO, C. GANTZER, J-C. INGLARD, J-M. MOUCHEL, C. POCHET, L. MOULIN, V. ROCHER, P. WALDMAN, S. WURTZERF, A. GEFFARD

The uses of bivalve molluscs in environmental biomonitoring have recently gained momentum due to their ability to indicate and concentrate human pathogenic microorganisms. In the context of the health crisis caused by the COVID-19 epidemic, the objective of this study was to determine if the SARS-CoV-2 ribonucleic acid genome can be detected in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) exposed to raw and treated urban wastewaters from two separate plants to support its interest as bioindicator of the SARS-CoV-2 genome contamination in water. The zebra mussels were exposed to treated wastewater through caging at the outlet of two plants located in France, as well as to raw wastewater in controlled conditions. Within their digestive tissues, our results showed that SARS-CoV-2 genome was detected in zebra mussels, whether in raw and treated wastewaters.

Moreover, the detection of the SARS-CoV-2 genome in such bivalve molluscans appeared even with low concentrations in raw wastewaters. This is the first detection of the SARS-CoV-2 genome in the tissues of a sentinel species exposed to raw and treated urban wastewaters. Despite the need for development for quantitative approaches, these results support the importance of such invertebrate organisms, especially zebra mussel, for the active surveillance of pathogenic microorganisms and their indicators in environmental waters.

## Publiées en 2021

Environmental Technology – December 2021, 15 pages

**Long-term performances and membrane lifespan of full-scale MBR treating filtrate from sludge ultra-dewatering**

R. MAILLER, J. POUILLAUDE, Y. FAYOLLE, M. OLIVEIRA FILHO, C. CAUSSERAND, V. ROCHER

An MBR treating filtrate from sludge ultra-dewatering (FSD) was studied to evaluate the real applicability to concentrated effluents. The MBR operation is comparable to conventional wastewater MBRs in terms of F/M and nitrogen to sludge ratios, SRT and MLSS in biological tanks. On the contrary, the volume treated is lower with a comparable pollution load, the effluent being concentrated in nitrogen and carbon. Very high and stable ammonium ( $97.7 \pm 2.4\%$ ), total phosphorus ( $81.8 \pm 11.9\%$ ), chemical ( $89.5 \pm 2.3\%$ ) and biochemical oxygen demands ( $98.8 \pm 0.7\%$ ) removals are observed despite a significant modification of the FSD composition. The MBR removal performances are whether comparable or greater than those reported at full-scale for Sharon or Anamox processes. The evolution of membranes properties, in particular, the decrease of permeability induced by the irreversible fouling, leads to a decrease of the daily permeate volume produced and an increase of the chemical cleaning need. The membrane lifespan was determined to be 5.5 years based on both the permeability loss and TSS in permeate. The permeability is directly correlated to the cumulated filtered flux of colloidal matter and a total of 350 kg O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> of the membrane (COD in the supernatant) is needed to reach a permeability below 100 LMH/bar. The specific energy consumption is comparable to other wastewater MBRs in kWh/kg COD removed but the intensive chemical cleanings need to be 2.5–4.5 times more frequent. Overall, it can be concluded that MBR is adapted to treat FSD efficiently.

Separation and Purification Technology - Volume 279, 15 December 2021, 119695

**Comprehensive study of supported PVDF membrane ageing in MBR: A direct comparison between changes at bench scale and full scale**

M. OLIVEIRA FILHO, R. MAILLER, V. ROCHER, Y. FAYOLLE, C. CAUSSERAND

While membrane bioreactors (MBR) have been broadly applied to wastewater treatment, membrane ageing studies have focused mainly on: (i) understanding the chemical action of sodium hypochlorite or (ii) monitoring ageing in direct filtration facilities (drinking water, groundwater, etc.). Thus, a comprehensive investigation under full-scale MBR operating conditions is still required. In the present study, polyvinylidene difluoride (PVDF) hollow fibers were sampled from a full-scale MBR in northern Paris during 7 years of operation. In addition, pristine membranes were aged at bench scale by single soaking in hypochlorite solution at a concentration and pH similar to MBR cleaning protocols. Both bench-scale- and full-scale-aged hollow fibers were characterized using similar analytical methods to assess the contributions of chemical action and operating conditions to the ageing process. At bench scale, membranes experienced no changes in mechanical resistance, but intrinsic permeability (i) first increased as a result of the hydrophilic agent oxidation, i.e., polyvinyl pyrrolidone (PVP), increasing porosity with the appearance of small pores (diameter < 20 nm), and (ii) then the structure seemed to collapse and permeability decreased as a result. By contrast, membranes aged at full scale experienced a 46% decline in maximum tensile strength probably due to mechanical stress induced by aeration conditions in MBR. Besides, permeability increased for the whole period as a result of a more pronounced oxidation/dislodgement of PVP molecules leading to higher porosity and the appearance of bigger pores (diameter > 40 nm). These changes favored irreversible fouling in contrast to bench-scale ageing. Therefore, bench-scale ageing is not completely representative of full-scale ageing and membrane autopsies must be preferred to this end. However, permeability and PVP content measurements may be applied after cleaning as in situ nondestructive tools in full-scale MBR to monitor membrane ageing. Plant operators should be aware that a continuous increase in intrinsic permeability may favor irreversible fouling accumulation demanding more frequent chemical cleanings.

**Application of a laboratory screw decanter to evaluate sludge behaviour in mechanical thickening and dewatering: Preliminary results**

R. MAILLER, M. PONCE DE LEON, V. ROCHER, P. GINISTY

Screw decanters are widely applied for sludge concentration, usually assisted by chemical conditioning. Performances and optimal operating parameters are difficult to predict because of non-quantified high shear stresses applied to flocs in industrial devices. Existing laboratory indicators are not able to reproduce all those conditions. This paper presents an evaluation of a new mini screw decanter that should reproduce more accurately the shearing action of the screw on the particles during bowl rotation. The effect of acceleration, relative velocity and feeding conditions on separation performances is investigated, demonstrating a good sensitivity of the method and consistent trends. The separation obtained at lab-scale with the optimal operating parameters is compared for five sludge to full-scale performances, highlighting a good correspondence between both scales results. Finally, the five sludge are compared based on their behavior in relation to their physico-chemical characteristics. The results demonstrated the applicability and consistency of the method.

**Sludge conditioning, thickening and dewatering optimization in a screw centrifuge decanter: Which means for which result?**

P. GINISTY, R. MAILLER, V. ROCHER

Centrifuge are common machines used for sludge thickening and dewatering in wastewater treatment plant but performances and optimal setting parameters are often difficult to predict and optimize, owing to complex mechanisms occurring during separation and high shear stresses undergone by flocs. Laboratory tests are necessary to assess performances and to screen chemicals and dosage in order to decrease optimization time at full scale. They include volatile matters characterization, drainage and CST tests vs mixing time, basket spin tests with shearing, limit dryness determination. The ability of these tests, to assess sludge dehydration and/or to select polymer and dosage, is discussed and is compared with performances obtained in a screw centrifuge decanter at lab and full scale.

**Fate of emerging and priority micropollutants during the sewage sludge treatment – Part 2: Mass balances of organic contaminants on sludge treatments are challenging**

D. PATUREAU, R. MAILLER, N. DELGENES, A. DANIEL, E. VULLIET, S. DESHAYES, R. MOILLERON, V. ROCHER, J. GASPERI

This paper analyzes the fate of 71 priority and emerging organic contaminants all along the treatment trains of sewage sludge treatment facilities in Paris including dewatering by centrifugation, thermal drying and anaerobic digestion. It aimed at proposing and applying a mass balances calculation methodology to each process and pollutant. This data validation strategy demonstrated the complexity to perform representative inlet/outlet sampling and analysis campaigns at industrial scales regarding organic compounds and to propose options to overcome this issue. Centrifugation and drying processes only implied physical mechanisms as phase separation and water elimination. Hence, correct mass balance were expected observed for organic contaminants if sampling and analysis campaigns were representative. This was the case for hydrophobic and neutral compounds. For the other more hydrophilic and charged compounds, the mass balances were scarcely correct. Thus, the conventional sampling and analytical practices used with sludge should be questioned and adapted to better take into account the high heterogeneity of sludge and the evolution of matrix effect within sludge treatment processes on micropollutant determination. For the biological anaerobic digestion process where degradations can occur and removals can be observed, the mass balances were deeply interpreted for 60 contaminants. This process contributed to the elimination above 70% of 21 detected compounds including 16 pharmaceuticals, 2 phthalates, 2 hormones and 1 perfluorinated compound. Removals of domperidone, propranolol, escitalopram, lidocaine, verapamil and cefoperazone under this condition were reported for the first time.

**What removals of pathogen indicators can be expected within large-scale wastewater treatment facilities in the context of wastewater reuse in Paris conurbation?**

R. MAILLER, P. MECHE, V. ROCHER

The fate of pathogen indicators (Escherichia coli – EC, intestinal enterococci – IE, RNA-F bacteriophages and spores of sulfite reducing bacteria – SSR) was extensively studied in Parisian large-scale wastewater treatment plants (WWTPs), based on conventional activated sludge, bio-filtration or membrane bioreactor (MBR) processes. Between 14 and 87 campaigns were performed between 2014 and 2018 in five WWTPs. High removals of 3 log for both EC and IE, and lower removals of 1–2 log for SSR and RNA-F bacteriophages, were observed in conventional activated sludge and biofiltration WWTPs. The MBR WWTP achieves notably greater removals of 4.5–5.5 log for faecal bacteria and 3–4 log for SSR and RNA-F bacteriophages. This WWTP is the only one already in compliance with reuse standards, the other ones being non-compliant because of SSR and RNA-F bacteriophages. The implementation of a micro-grain activated carbon process would increase the WWTP removals of 0.8 log for faecal bacteria, due to particles retention, with no significant effect on both other pathogens. Ozonation (0.9–1.3 g O<sub>3</sub>/g dissolved organic carbon) or performic acid (0.8–1.2 ppm) would have greater benefits with additional removals of 1.5–2.5 log for EC, 1–2 log for IE and 0.5–1 log for SSR and RNA-F bacteriophages. Correlations between pathogen indicator removals and initial concentrations were found, as well as a significant decrease of RNA-F bacteriophage concentrations in Parisian raw wastewater, below 2 log. Thus, RNA-F bacteriophages could be a real issue to evaluate the compliance of Parisian wastewater with reuse. The time evolution of removals demonstrated that SSR is the most problematic parameter regarding reuse in conventional activated sludge and biofiltration WWTPs, as its initial concentration is high (5 log) but removals insufficient.

**Fluorescence excitation/emission matrices as a tool to monitor the removal of organic micropollutants from wastewater effluents by adsorption onto activated carbon**

R. GUILLOSSOU, J. LE ROUX, A. GOFFIN, R. MAILLER, G. VARRAULT, E. VULLIET, C. MORLAY, F. NAULEAU, S. GUERIN, V. ROCHER, J. GASPERI

Monitoring the removal of organic micropollutants (OMPs) in advanced wastewater treatment facilities requires expensive and time-consuming analytical methods that cannot be installed online. Spectroscopic techniques such as fluorescence excitation/emission spectroscopy were demonstrated to offer the potential for monitoring OMPs removal in conventional wastewater treatment plants or ozonation pilots but their application to activated carbon (AC) adsorption processes was only investigated at lab scale and not in real treatment facilities. In this study, indexes from fluorescence emission/excitation matrices (EEMs) were used to find correlations with the removal of 28 OMPs from a large-scale AC pilot in fluidized bed employed for wastewater advanced treatment, as well as from batch experiments. Differences in OMPs removal could be observed depending on the operational conditions (i.e. pilot or batch experiments, contact time, type of AC) and the physico-chemical properties of the molecules. 7 PARAFAC components were derived from the fluorescence EEMs of 60 samples obtained before and after adsorption. Positive correlations were obtained between the removal of fluorescence indexes and most OMPs, and correlation coefficients were much higher than the ones obtained with UV254, confirming the interesting potential of fluorescence spectroscopy to accurately monitor adsorption performances at the industrial scale. The highest correlation coefficients were obtained for OMPs having the best removals while the ones that were refractory to adsorption, as well as to interactions with DOM, exhibited weak correlations. These results suggest that interactions between OMPs and fluorescing DOM and their subsequent co-adsorption onto AC were at the origin of the correlations found. Lower correlations were also found for the most biodegradable OMPs, which indicated that the occurrence of biological effects could make the monitoring of these compounds more challenging.



**Life cycle assessment of powder and micro-grain activated carbon in a fluidized bed to remove micropollutants from wastewater and their comparison with ozonation**

E. IGOS A, R. MAILLER, R. GUILLOSSOU, V. ROCHER, J. GASPERI

To tackle water micropollutant pollution, the development of an advanced wastewater treatment is necessary and should be supported by an environmental evaluation to guide decision-makers. Life cycle assessment (LCA) methodology has been applied in the literature for several technologies and highlighted the variability of results (e.g. site-specific conditions) and the limited (eco-)toxicity benefits compared to additional operating impacts. In this study, the LCA of an activated carbon (AC) adsorption process based on a fluidized bed (limiting AC usage) was performed to determine its optimal operating conditions (dosage, use of micro-grain e mGAC or powder e PAC) and environmental benefits compared to the common ozonation process. This study was based on pilot processes installed at the Seine Centre treatment plant (France), using sensitivity analyses to identify the conditions for choosing a technology. For the seven scenarios (fluidized bed with 10 and 20 mg/L, both for PAC and mGAC; ozonation with 0.6 and 0.9 gO<sub>3</sub>/gDOC; and pre-ozonation combined with mGAC), the operational impacts generated (energy and material use) and the impacts avoided (micropollutant removal) were evaluated for climate change, freshwater ecotoxicity and human toxicity (USEtox characterization factors for micropollutants complemented with literature data). The LCA results showed that the fluidized bed process should preferably be operated with mGAC rather than PAC. The advantage of mGAC adsorption compared to ozonation is negligible but could nevertheless be significant in European countries with a significant share of coal-based electricity (i.e. all countries except Sweden and France). As in most of the previous works, the (eco) toxicity impacts avoided were found to be negligible, but other substances, such as hormones and oxidation by-products, should be further considered and characterized to better represent the treatment performances. The combination of ozonation and mGAC adsorption on a fluidized bed is a promising option to efficiently remove micropollutants, as well as oxidation by-products, while keeping the impacts generated within a reasonable range. This paper presented valuable results to support the eco-design of advanced wastewater treatment (both in terms of operating conditions and targeted substances) but should be complemented with large-scale evaluations (e.g. using consequential LCA) and better impact characterization of micropollutants.

## Publiées en 2020

**Urban pathways of biocides towards surface waters during dry and wet weathers: assessment at the Paris conurbation scale**

C. PAIJENS, A. BRESSY, B. FRERE, D. TEDOLDI, R. MAILLER, V. ROCHER, P. NEVEU, R. MOILLERON

Eighteen biocides used in building materials and domestic products were monitored in wastewater treatment plants (WWTPs) during dry weather and in combined sewer overflows (CSOs) during wet weather in the Paris conurbation. The aims of this study were to (i) acquire data on biocides in urban waters, which are very scarce up to now, (ii) identify their origins in CSOs with the perspective of reducing these contaminants at source, and (iii) compare and rank biocide pathways to the river (dry vs. wet weather) at the annual and conurbation scales. The results showed the ubiquity of the 18-targeted biocides in WWTP waters and CSOs. High concentrations of methylisothiazolinone, benzisothiazolinone (0.2- 0.9 µg/L) and benzalkonium C12 (0.5-6 µg/L) were measured in wastewater. Poor WWTP removals (<50%) were observed for most of the biocides. Both wastewater (mainly domestic uses) and stormwater (leaching from building materials) contributed to the CSO contamination. However, benzisothiazolinone mainly came from wastewater whereas diuron, isoproturon, terbutryn, carbendazim, tebuconazole, and mecoprop mainly came from stormwater. Annual mass loads discharged by WWTPs and CSOs into the Seine River were estimated using a stochastic approach (Monte Carlo simulations) at the conurbation scale and showed that WWTP discharges are the major entry pathway.

**Temperature, turbidity, and the inner filter effect correction methodology for analyzing fluorescent dissolved organic matter**

A. GOFFIN, L. ALEJANDRA VASQUEZ-VERGARA, S. GUERIN-RECHDAOUI, V. ROCHER, G. VARRAULT

Dissolved organic matter (DOM) will be increasingly monitored by means of in situ fluorescence spectroscopy devices in order to supervise wastewater treatment plant efficiency, due to their ease of implementation and high-frequency measurement capacity. However, fluorescence spectroscopy measurements are reported to be sensitive to the sample matrix effects of temperature, the inner filter effect (IFE), and turbidity. Matrix effect estimation tests and signal correction have been developed for DOM (tyrosine-like, tryptophan-like, and humic substances-like fluorescent compounds) fluorescence measurements in unfiltered urban sewage samples. All such tests are conducted in temperature, absorbance, and turbidity ranges representative of urban sewage. For all fluorophores studied, an average of 1% fluorescence intensity decrease per degree (°C) of temperature increase could be observed. Protein-like fluorescent compound signals were found to be significantly affected by turbidity (0 to 210 NTU) and IFE (absorbance 254 nm > 0.200). Only temperature needs to be corrected for humic substances-like fluorescent compounds since other effects were not observed over the studied ranges of absorbance and turbidity. The fluorescence intensity correction method was applied first to each matrix effect separately and then combined by using a sequential mathematical correction methodology. An efficient methodology for determining the matrix effect correction equations for DOM fluorescence analysis into unfiltered urban sewage samples has been highlighted and could be used for in situ fluorescence measurement devices.

**Monitoring freshwater fish communities in large rivers using environmental DNA metabarcoding and a long-term electrofishing survey**

A. GOUTTE, N. MOLBERT, S. GUERIN, R. RICHOUX, V. ROCHER

Monitoring freshwater fish communities in a large human-impacted river is a challenging task. The structure of fish assemblages has been monitored yearly in the Marne and the Seine Rivers, across the Paris conurbation, France, using traditional electrofishing (EF) surveys since 1990, in accordance with the European Water Framework Directive. In addition, metabarcoding of DNA extracted from environmental samples (eDNA) was concomitantly conducted in nine sampling sites in 2017 and in 2018 to compare the estimates of species richness and relative abundance among three methods: annual, long-term EF monitoring and eDNA. The present study confirms better detection of fish species using eDNA compared to annual EF. eDNA metabarcoding was also more efficient for species detection than a 3–6-year EF survey but was similar or less efficient than a long-term EF survey of 14 years of monitoring. In addition, the numbers of reads per species relative to the total number of reads significantly increased with (a) increasing relative abundance (relative percentage of individuals caught per species) and (b) increasing number of years that a fish species was detected during the 2000–2018 period. These results suggest that eDNA could reflect local population persistence

Environmental Technology – June 2020, 13 pages

### **Normalization of wastewater coagulation-flocculation trials and implications in terms of variability in treatment performance and comparison of commercial coagulants**

R. MAILLER, P. MECHE, P. SAUVIGNET, S. AZIMI, V. ROCHER

Normalizations by TSS or P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> initial concentrations are consistent as they are correlated to the Jar- test performances. Jar-tests results are independent of the wastewater quality variations in terms of TSS and P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> and independent of the WWTP origin of the water. A notable variability in the TSS results indicates that the pollutant's initial load has to be taken into account even with normalizations. This variability is lower with normalization by P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, indicating that this is the best indicator to consider. It is possible to determine that the optimal cation dosage is 60 mol Fe<sup>3+</sup>/kg P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> as it guarantees a residual concentration of 0.7–1.0 mg P/L and a good removal of TSS. Then, six commercially available cationic coagulants were compared, demonstrating a comparable effect at a comparable normalized molar dose, whatever the coagulant on both TSS and P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, as well as on soluble carbon and nitrogen. The differences observed between these types of coagulants in the literature are then probably due to methodological issues. Settling velocity distribution charts were also very similar for the different coagulants. This confirms that the source of cation and the type of cation have no significant effect on physico-chemical settling performances.

Chemosphere – March 2020, Volume 243, 9 pages

### **Influence of the properties of 7 micro-grain activated carbons on organic micropollutants removal from wastewater effluent**

R. GUILLOSSOU, J. LE ROUX, R. MAILLER, C. MORLAY, E. VULLIET, F. NAULEAU, V. ROCHER, J. GASPERI

Most studies dedicated to organic micropollutants (OMPs) removal from wastewater effluents by adsorption onto activated carbon (AC) only consider a few conventional AC properties. The link between OMPs removal and these properties is often missing, which limits the understanding of the adsorption process and the interpretation of the results. The chemical, physical and textural properties of seven newly commercialized micro-grain activated carbons ( $\mu$ GACs) were determined to assess their influence on the removal of 28 OMPs. Conventional batch tests with wastewater effluent showed that a high percentage of microporous volume (>65%) was detrimental for the removal of 10 OMPs, probably due to a higher blockage of micropores by dissolved organic matter (DOM). The removal of 5 OMPs was correlated with  $\mu$ GACs surface chemistry properties (i.e. charge) which were potentially modified by DOM adsorption or inorganic species, thus favoring the adsorption of positively-charged compounds. A combination of OMPs properties including their charge, hydrophobicity and minimal projection area could explain their removal. Correlations were found between the removal of several OMPs and UV254, suggesting that DOM and OMPs interacted with each other or followed similar adsorption mechanisms. A decrease in  $\mu$ GACs particle size had a positive impact on UV254 removal under continuous-flow conditions in columns representative of a large-scale pilot due to better expansion.

Water Research – April 2020, Volume 172, 10 pages

### **Influence of dissolved organic matter on the removal of 12 organic micropollutants from wastewater effluent by powdered activated carbon adsorption**

R. GUILLOSSOU, J. LE ROUX, R. MAILLER, C. SOARES PEREIRA-DEROME, G. VARRAULT, A. BRESSY, E. VULLIET, C. MORLAY, F. NAULEAU, V. ROCHER, J. GASPERI

The presence of dissolved organic matter (DOM) in wastewater effluents is recognized as the main factor limiting the adsorption of organic micropollutants (OMPs) onto activated carbon. The degree of the negative effect that DOM, depending on its quality, exerts on OMPs adsorption is still unclear. The influence of the interactions between DOM and OMPs on their removal is also not fully understood. Adsorption isotherms and conventional batch tests were performed in ultra-pure water and in wastewater effluent to study the influence of DOM on the adsorption of 12 OMPs onto powdered activated carbon. Best fit of adsorption pseudo-isotherms was obtained with the Freundlich equation and showed, as expected, that OMPs adsorption was higher in ultra-pure water than in wastewater effluent due to the presence of DOM leading to pore blockage and competition for adsorption sites. LC-OCD analysis revealed that biopolymers and hydrophobic molecules were the most adsorbed fractions while humic acids were not removed after a contact time of either 30 min or 72 h. The presence of DOM had a negative impact on the removal of all OMPs after 30 min of

adsorption, but similar removals to ultra-pure water were obtained for 6 OMPs after 72 h of adsorption. This demonstrated that competition between DOM and OMPs for adsorption sites was not a major mechanism as compared to pore blockage, which only slowed down the adsorption and did not prevent it. The charge of OMPs had a clear impact: the adsorption of negatively charged compounds was reduced in the presence of wastewater effluent due to repulsive electrostatic interactions with the adsorbed DOM and the PAC surface. On the other hand, the removal of positively charged compounds was improved. A 24 h pre-equilibrium between OMPs and DOM improved their removal onto PAC, which suggests that OMPs and DOM interacted in solution which decreased the negative effects caused by the presence of DOM, e.g. through co-adsorption of an OMP-DOM complex.

Chemosphere – March 2020, Volume 243, 11 pages

### **Benefits of ozonation before activated carbon adsorption for the removal of organic micropollutants from wastewater effluents**

R. GUILLOSSOU, J. LE ROUX, S. BROSILLON, R. MAILLER, E. VULLIET, C. MORLAY, F. NAULEAU, V. ROCHER, J. GASPERI

Advanced processes for the removal of organic micropollutants (OMPs) from wastewater effluents include adsorption onto activated carbon, ozonation, or a combination of both processes. The removal of 28 OMPs present in a real wastewater effluent was studied by ozonation coupled to activated carbon adsorption and compared to a sole adsorption. The influence of the specific ozone dose (0.09–1.29 gO<sub>3</sub>/g DOC) and the influence of the powdered activated carbon (PAC) dose (2, 5 and 10 mg/L) were first studied separately. OMPs removal increased with both the specific ozone dose (up to 80% for a dose higher than 0.60 gO<sub>3</sub>/g DOC) and the PAC dose. Ozonation performances decreased in presence of suspended solids, which were converted to dissolved organic carbon. A correction of the specific ozone dose according to the suspended solids levels, in addition to nitrite, should be considered. The influence of ozonation (0.09, 0.22, 0.94 and 1.29 gO<sub>3</sub>/g DOC) on OMPs adsorption was then assessed. OMPs adsorption didn't change at low specific ozone doses but increased at higher specific ozone doses due to a decrease in DOM adsorption and competition with OMPs. At low ozone doses followed by adsorption (0.22 gO<sub>3</sub>/g DOC and 10 mg/L PAC), the two processes appeared complementary as OMPs with a low reactivity toward ozone were well absorbed onto PAC while most OMPs refractory to adsorption were well eliminated by ozone. Improved removals were obtained for all compounds with these selected doses, reaching more than 80% removal for most OMPs while limiting the formation of bromate ion.

## **Publiées en 2019**

Frontiers in Marine Science – October 2019, Volume 6, article 642, 8 pages

### **Seine Plastic Debris Transport Tenfolded During Increased River Discharge**

T. VAN EMMERIK, R. TRAMOY, C. VAN CALCAR, S. ALLIGANT, R. TREILLES, B. TASSIN, J. GASPERI

Rivers transport land-based plastic waste into the ocean. Current efforts to quantify riverine plastic emission come with uncertainty as field observations are scarce. One of the challenging aspects is the lack of consistent measurement methods that allow for comparing rivers over space and time. Recent studies have shown that simple visual observations provide a robust first-order characterization of floating and superficially suspended plastic transport, both in quantity, spatiotemporal distribution and composition. For this study, we applied this method to the river Seine, France, to provide new insights in the spatiotemporal variation in riverine plastic transport. First, we studied the response of plastic flow to increased river discharge by comparing measurements taken during low flow and high flow periods. Second, we investigated the variation of riverine plastic transport over the river length to improve our understanding of the origin and fate of riverine plastics. We demonstrate that during a period with higher river discharge, plastic transport increased up to a factor ten at the observation point closest to the river mouth. This suggests that the plastic emission into the ocean from the Seine may also be considerably higher during increased discharge.

Upstream of Paris plastic transport increased only with a factor 1.5, suggesting that most plastics originate from Paris or areas further downstream. With this paper we aim to shed additional light on the seasonal variation in riverine plastic transport and its distribution along the river length, which may benefit future long-term monitoring efforts and plastic pollution mitigation strategies.

Environnemental monitoring and assessment – June 2019, 8 pages

**An environmentally friendly surrogate method for measuring the soluble chemical oxygen demand in wastewater: use of three-dimensional excitation and emission matrix fluorescence spectroscopy in wastewater treatment monitoring**

A. GOFFIN, S. GUERIN-RECHDAOUI, V. ROCHER, G. VARRAULT

Gaining rapid knowledge of dissolved organic matter (DOM) proves to be decisive for wastewater treatment plant operators in efforts to achieve good treatment efficiency in light of current legislation. DOM can be monitored by application of fluorescence spectroscopy both online and in real time in order to derive an assessment of DOM oxidation potential. This work presents an eco-friendly alternative method for measuring the soluble chemical oxygen demand (COD) in raw sewage by means of three-dimensional fluorescence spectroscopy. A peak-picking approach has been developed based on a previous parallel factor analysis (PARAFAC) model dedicated to Paris raw sewage. Fluorescence spectroscopy parameters were used to obtain a good prediction model of soluble COD ( $r^2 = 0.799$ ;  $p < 0.0001$ ;  $n = 80$ ) for raw sewage. The approach employed in this study serves as a guideline for purposes of implementing online wastewater monitoring and conducting environmentally friendly soluble COD measurements in the laboratory.

Water Research – June 2019, volume 156, pages 337-346

**Considering the plug-flow behavior of the gas phase in nitrifying BAF models significantly improves the prediction of N<sub>2</sub>O emissions**

J. FIAT, A. FILALI, Y. FAYOLLE, J. BERNIER, V. ROCHER, M. SPERANDIO, S. GILLOT

Nitrifying biologically active filters (BAFs) have been found to be high emitters of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), a powerful greenhouse gas contributing to ozone layer depletion. While recent models have greatly improved our understanding of the triggers of N<sub>2</sub>O emissions from suspended-growth processes, less is known about N<sub>2</sub>O emissions from full-scale biofilm processes. Tertiary nitrifying BAFs have been modeled at some occasions but considering strong simplifications on the description of gas-liquid exchanges which are not appropriate for N<sub>2</sub>O prediction. In this work, a tertiary nitrifying BAF model including the main N<sub>2</sub>O biological pathways was developed and confronted to full-scale data from Seine aval, the largest wastewater resource recovery facility in Europe. A mass balance on the gaseous compounds was included in order to correctly describe the N<sub>2</sub>O gas-liquid partition, thus N<sub>2</sub>O emissions. Preliminary modifications of the model structure were made to include the gas phase as a compartment of the model, which significantly affected the prediction of nitrification. In particular, considering gas hold-up influenced the prediction of the hydraulic retention time, thus nitrification performances: a 3.5% gas fraction reduced ammonium removal by 13%, as the liquid volume, small in such systems, is highly sensitive to the gas presence. Finally, the value of the volumetric oxygen transfer coefficient was adjusted to successfully predict both nitrification and N<sub>2</sub>O emissions.

Frontiers in Marine Science – April 2019, Volume 6, article 151, 10 pages

**Assessment of the Plastic Inputs From the Seine Basin to the Sea Using Statistical and Field Approaches**

R. TRAMOY, J. GASPERI, R. DRIS, L. COLASSE, C. FISSO, S. SANANES, V. ROCHER, B. TASSIN

Global estimations state that between 0.5 and 12.7 million metric tons of plastic enter the oceans each year. They are, however, associated with great uncertainties due to methodological difficulties to accurately quantify land-based plastic fluxes into the oceans. New studies at basin scale are thus needed for better model calibrations. Here, a modeling approach based on Jambeck's statistical method and a field approach are compared in order to (i) quantify plastic fluxes in the Seine River and (ii) characterize and constrain uncertainties of both approaches. Despite the simplicity of the statistical approach and rough extrapolations, both methods yield similar results, i.e., between 1,100 and 5,900 t/yr of plastic litter flowing into the Sea of which about 88–128 t/yr are removed by cleaning operations. According to the marine strategy framework directive (2008/56/EC), actions are required to quantify plastic fluxes entering the oceans. Among different methods, a better use of the data from the waste collection should be considered. The development of a national and homogenous platform listing all the collects would be a first step in that direction.

Water Practice & Technology – Volume 14 N° 1, pages 43-54

**Clogging limitation of nitrifying biofilters: BiostyrDuo® process study**

V. ROCHER, R. MAILLER, P. MECHE, S. PICHON, J. BERNIER, S. GUERIN, O. FERRO, A. AUGÉ, L. BOURSAUD, G. BORD, J-F. BULTEAU, S. AZIMI

The biological conventional removal of nitrogen is achieved through nitrification and denitrification steps using several types of technologies, including fixed-film reactors. This type of technology allows the nitrifying bacteria to grow on a media that remains inside the reactor. This process requires tight control and is known to progressively clog during treatment as the filtered particles accumulate and biofilm grows on the media. Thus, clogging management is generally considered as a key factor in biofiltration. So, increasing the filtration time and reducing the number of backwashes are possible ways of achieving a more efficient nitrification step. The objective of the work presented here is to verify the influence of a media, named K5, added to the Biostyr® beads inside a biofilter. With a greater density than Biostyr® beads, this media stays at the bottom of the biofilter and improves operating conditions, reducing both the headloss during filtration time and the number of backwashes. The addition of such media in biofilters may reduce significantly the energy consumption of the process and the risk of hydraulic short-circuiting while limiting biofilter clogging.

Chemosphere – March 2019, Volume 218, pages 1050-1060

**Organic micropollutants in a large wastewater treatment plant: What are the benefits of an advanced treatment by activated carbon adsorption in comparison to conventional treatment?**

R. GUILLOSSOU, J. LE ROUX, R. MAILLER, E. VULLIET, C. MORLAY, F. NAULEAU, J. GASPERI, V. ROCHER

Several advanced treatments, such as ozonation or activated carbon adsorption, are currently considered for the removal of organic micropollutants (OMPs) in wastewater treatment plants (WWTP). However, little is known on the overall performances of a WWTP upgraded with those processes and the benefits provided regarding the elimination of multiple families of OMPs. In this study, 5 sampling campaigns were performed to determine the removal of 48 OMPs in a WWTP followed by an activated carbon pilot. The primary treatment had no effect on OMPs (removals <20%), whereas the biological treatment removed OMPs that can be easily sorbed onto sludges or biodegraded (>60%). The additional elimination provided by the advanced treatment was not significant (<10%) for OMPs already well removed in the WWTP but was substantial (>30%) for recalcitrant OMPs. Removals higher than 60% were obtained for all OMPs (except azithromycin and sulfamethoxazole) over the WWTP and the activated carbon pilot. The adsorption conditions (10 g/m<sup>3</sup> fresh activated carbon addition) were not sufficient to achieve the 80% removal targeted in Switzerland for compounds suggested as indicator substances for wastewater treatment. A higher dose of activated carbon or the combination with another advanced treatment should be used to achieve a satisfactory removal of those compounds.

Journal of Applied Microbiology – August 2018, 12 pages

### **Autonomous system for rapid field quantification of *Escherichia coli* in surface waters**

D.E. ANGELESCU, V. HUYNH, A. HAUSOT, G. YALKIN, V. PLET, J.-M. MOUCHEL, S. GUERIN-RECHDAOUI, S. AZIMI, V. ROCHER

**Aims:** The purpose of this work is to present and evaluate the performance of a novel Automatic Lab-in-vial *Escherichia coli* Remote Tracking technology based on an automated real-time defined substrate approach, implemented in both portable and in situ instruments.

**Methods and Results:** We present the fresh water calibration procedure, and assess performance using side-by-side comparison with most probable number (MPN) approaches in terms of accuracy, reproducibility and capability to correctly generate early-warning alerts. Long-term data from an operational in situ deployment at a potential bathing site is presented as well. **Conclusions:** Automatic Lab-in-vial *Escherichia coli* Remote Tracking technology is shown to be an accurate and rapid bacterial quantification technology, capable of autonomous in situ measurements with metrological capabilities comparable to those of an approved laboratory using MPN microplate techniques.

**Significance and Impact of the Study:** Rapid quantification of bacterial pollution is a requirement in water quality applications ranging from recreational water use, agriculture and aquaculture to drinking and wastewater treatment. The method and instruments presented in this work should enable fast and accurate bacterial concentration measurements to be performed in a portable or in situ manner, thus simplifying operational logistics, reducing time-to-result delays, and eliminating sample transportation constraints associated with traditional techniques.

Chemosphere – Décembre 2018, Volume 213, pages 587-595

### **Non-target strategies by HRMS to evaluate fluidized micro-grain activated carbon as a tertiary treatment of wastewater**

A. BERGE, A. BULETE, A. FILDIER, R. MAILLER, J. GASPERI, Y. COQUET, F. NAULEAU, V. ROCHER, E. VUILLET

Among the release solutions for reducing the discharge of organic and persistent contaminants in the aquatic environment, the use of a tertiary treatment in addition to existing conventional wastewater treatment processes is considered. The use of micro-grain activated carbon in a fluidized bed is a promising technique investigated in this study. The effluents from a large-scale pilot system were analyzed by liquid chromatography coupled with high-resolution mass spectrometry (QToF). Several strategies were deployed, namely molecular fingerprint comparison, suspected and non-target analyses, identification of refractory compounds to treatment, and finally, quantification of identified compounds. The evaluation of the molecular fingerprints provided evidence of the overall effect of the tertiary treatment on the treated wastewater quality. The suspected approach highlighted the presence of 83 pharmaceuticals and pesticides as well as transformation products in the effluents. The non-target approaches also highlighted compounds refractory to tertiary treatment, such as illicit drugs or some pharmaceuticals. The identification and quantification of identified compounds underscored the suitability of micro-grain activated carbon in eliminating many classes of pharmaceuticals with various physicochemical properties, such as anti-hypertensive, analgesic, anti-viral, antidepressant and even various pesticides.

Science of the total Environment – December 2018, Volume 643, pages 1257-1264

### **Anthropogenic particles in the stomach contents and liver of the freshwater fish *Squalius cephalus***

F. COLARD, J. GASPERI, B. GILBERT, G. EPPE, S. AZIMI, V. ROCHER, B. TASSIN

Anthropogenic particles (APs) are a very broad category of particles produced directly or indirectly by human activities. Their ingestion by biota is well studied in the marine environment. In contrast, studies on AP ingestion in wild freshwater organisms are scarce despite high contamination levels in some rivers and lakes. In this study, we aimed to evaluate the ingestion of APs and the possible occurrence of APs in the liver and muscle of a freshwater fish, *Squalius cephalus*, from the Parisian conurbation. After isolation, the particles were analyzed using Raman spectroscopy. In sixty stomachs, eighteen APs were found, half of which were plastics and the other half were dyed

particles. Twenty-five percent of sampled individuals had ingested at least one AP. The mean length of the APs was 2.41 mm. No significant difference was found between the sites upstream and downstream of Paris. Additionally, 5% of sampled livers contained one or more APs, which were characterized as microplastics (MPs). No APs were found in the muscle tissue. The majority of APs isolated from stomach contents were fibers, which is similar to the findings of a previous river contamination study. This highlights that fish could be more exposed to fibers than previously thought and that more studies on the impacts of fiber ingestion are required. Despite their low occurrence, MPs are reported, for the first time, in the liver of a wild freshwater fish species. While the pathways and impacts are still unknown, MPs also occur in liver of marine mollusks and fish. Physiological in vitro studies are needed to better evaluate the impacts of such phenomena.

Revue des sciences de l'eau- Volume 31, n° 1, 2018, pages 61-73

### **La production de nitrites lors de la dénitrification des eaux usées par biofiltration – stratégie de contrôle et de réduction des concentrations résiduelles**

V.ROCHER, C. JOIN, S. MOTTELET, J. BERNIER, S. RECHDAOUI-GUERIN, S. AZIMI, P. LESSARD, A. PAUSS, M. FLIESS

Le développement des unités de post-dénitrification dans les stations d'épuration de l'agglomération parisienne a fait réémerger la problématique du nitrite dans les eaux de Seine en aval de Paris. Le contrôle de l'apparition des nitrites au cours de l'étape de post-dénitrification est donc devenu un enjeu technique majeur. Des études visant à mieux appréhender les mécanismes d'apparition du nitrite lors de la dénitrification des eaux usées et à étudier des évolutions techniques (métrologie et boucles de contrôle – commande des procédés) à mettre en œuvre sur les usines pour contrôler et limiter sa production ont été engagées dans le cadre du programme Mocopée ([www.mocopee.com](http://www.mocopee.com)). De précédents travaux ont montré que les modes usuels d'injection du méthanol ne permettent pas de s'assurer de la stabilité du rapport C/N dans le réacteur biologique et conduisent à une production erratique et incontrôlée de nitrites. La possibilité d'ajouter une « commande sans modèle » à la commande classique a donc été testée à l'aide du modèle mathématique SimBio, modèle permettant de simuler le fonctionnement des unités de biofiltration. La commande sans modèle placée « en fin de traitement », et basée sur la concentration en nitrites mesurée en sortie de procédé, se greffe à la méthode de contrôle classique en y apportant des corrections seulement au besoin. Les résultats des simulations montrent qu'une régulation des injections de méthanol basée sur la « commande sans modèle » permet de stabiliser et maîtriser le nitrite dans le rejet, sans induire d'augmentation des quantités de méthanol injectées.

Science of the total Environment – June 2018, Volume 626, pages 1057-1068

### **Are boron isotopes a reliable tracer of anthropogenic inputs to rivers over time?**

D. GUINOISEAU, P. LOUVAT, G. PARIS, J. BIN CHEN, B. CHETELAT, V. ROCHER, S. GUERIN, J. GAILLARDET

This study aims at determining how the boron signal of the Seine River evolved in terms of concentration and isotopic signatures over eighteen years (1994–95 and 2006–12) and if boron isotopes can reliably trace anthropogenic inputs over time. In the anthropised Seine River watershed, boron is widely released by human activities, and even if boron concentrations ([B]) are below the potability limit, our study confirms the potential of boron isotopes ( $\delta^{11}\text{B}$ ) to trace urban anthropogenic contaminations. Between 1994 and 2012, [B] have decreased across the anthropised part of the Seine River basin (and by a factor of two in Paris) while  $\delta^{11}\text{B}$  has increased. This means either that urban inputs have been reduced or that the boron signature of urban inputs has changed over time. Both hypotheses are in agreement with the decrease of perborate consumption in Europe over 15 years and are not mutually exclusive.

Results of a thorough analysis of urban effluents from the sewage network of Paris conurbation that are in fine released to the Seine River suggest a shift of the urban  $\delta^{11}\text{B}$  from  $-10\text{‰}$  in 1994 to  $1.5 \pm 2.0\text{‰}$  in 2012, in agreement with our second hypothesis. We attribute this change to the removal of perborates from detergents rather than to the modernisation of wastewater treatment network, because it does not significantly impact the wastewater boron signatures. Eighteen years after the first assessment and despite the decreased use of perborates, geochemical and isotopic mass budgets confirm, that boron in the Seine River basin is mainly released from urban activities (60–100%), especially in Paris and the downstream part of the basin. Contrastingly, in headwaters and/or tributaries with low urbanisation, the relative boron input to river from agricultural practices and rains increased, up to 10% and by 10 to 30%, respectively.

**Towards a better control of the wastewater treatment process: excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy of dissolved organic matter as a predictive tool of soluble BOD<sub>5</sub> in influents of six Parisian wastewater treatment plants**

A. GOFFIN, S. GUERIN, V. ROCHER, G. VARRAULT

The online monitoring of dissolved organic matter (DOM) in raw sewage water is expected to better control wastewater treatment processes. Fluorescence spectroscopy offers one possibility for both the online and real-time monitoring of DOM, especially as regards the DOM biodegradability assessment. In this study, three-dimensional fluorescence spectroscopy combined with a parallel factor analysis (PARAFAC) has been investigated as a predictive tool of the soluble biological oxygen demand in 5 days (BOD<sub>5</sub>) for raw sewage water. Six PARAFAC components were highlighted in 69 raw sewage water samples: C2, C5, and C6 related to humic-like compounds, along with C1, C3, and C4 related to protein-like compounds. Since the PARAFAC methodology is not available for online monitoring, a peak-picking approach based on maximum excitation-emission (Ex-Em) localization of the PARAFAC components identified in this study has been used. A good predictive model of soluble BOD<sub>5</sub> using fluorescence spectroscopy parameters was obtained ( $r^2 = 0.846$ , adjusted  $r^2 = 0.839$ ,  $p < 0.0001$ ). This model is quite straightforward, easy to automate, and applicable to the operational field of wastewater treatment for online monitoring purposes.

## Publiées en 2017

**Synthetic and non-synthetic anthropogenic fibers in a river under the impact of Paris Megacity: Sampling methodological aspects and flux estimations**

R. DRIS, J. GASPERI, V. ROCHER, B. TASSIN

Processed fibers are highly present in our daily life and can be either natural, artificial (regenerated cellulose) and synthetic (made with petrochemicals). Their widespread use lead inevitably to a high contamination of environment. Previous studies focus on plastic particles regardless of their type or shape as long as they are comprised between 330  $\mu\text{m}$  and 5 mm. On the contrary, this study focuses exclusively on fibers using a smaller mesh size net (80  $\mu\text{m}$ ) to sample freshwater. Moreover, all processed organic fibers are considered, irrespective to their nature. First, the short term temporal variability of the fibers in the environment was assessed. While exposing the sampling net during 1 min a coefficient of variation of approx. 45% (with  $n = 6$ ) was determined. It was of only 26% ( $n = 6$ ) when the exposure was of 3 min. The assessment of the distribution through the section showed a possible difference in concentrations between the middle of the water surface and the river banks which could be attributed to the intense river traffic within the Paris Megacity. The vertical variability seems negligible as turbulence and current conditions homogenize the distribution of the fibers. A monthly monitoring showed concentrations of  $100.6 \pm 99.9$  fibers·m<sup>-3</sup> in the Marne River and of:  $48.5 \pm 98.5$ ,  $27.9 \pm 26.3$ ,  $27.9 \pm 40.3$  and  $22.1 \pm 25.3$  fibers·m<sup>-3</sup> from the upstream to downstream points in the Seine River. Once these concentrations are converted into fluxes, it seems that the impact generated by the Paris Megacity cannot be distinguished. Investigations on the role of sedimentation and deposition on the banks are required. This study helped fill some major knowledge gaps regarding the fibers in rivers, their sampling, occurrence, spatial-temporal distribution and fluxes. It is encouraged that future studies include both synthetic and none synthetic fibers.

**Impacts from urban water systems on receiving waters – How to account for severe wet-weather events in LCA?**

E. RISCH, J. GASPERI, M-C. GROMAIRE, G. CHEBBO, S. AZIMI, V. ROCHER, P. ROUX, R. K. ROSENBAUM, C. SINFORT

Sewage systems are a vital part of the urban infrastructure in most cities. They provide drainage, which protects public health, prevents the flooding of property and protects the water environment around urban areas. On some occasions sewers will overflow into the water environment during heavy rain potentially causing unacceptable impacts from releases of untreated sewage into the environment. In typical Life Cycle Assessment (LCA) studies of urban wastewater systems (UWS), average dry-weather conditions are modelled while wet-weather flows from UWS, presenting a high temporal variability, are not currently accounted for. In this context, the loads from several storm events could be important contributors to the impact categories freshwater eutrophication and ecotoxicity. In this study we investigated the contributions of these wet-weather-induced discharges relative to average dry-weather conditions in the life cycle inventory for UWS. In collaboration with the Paris public sanitation service (SIAAP) and Observatory of Urban Pollutants (OPUR) program researchers, this work aimed at identifying and comparing contributing flows from the UWS in the Paris area by a selection of routine wastewater parameters and priority pollutants. This collected data is organized according to archetypal weather days during a reference year. Then, for each archetypal weather day and its associated flows to the receiving river waters (Seine), the parameters of pollutant loads (statistical distribution of concentrations and volumes) were determined. The resulting inventory flows (i.e. the potential loads from the UWS) were used as LCA input data to assess the associated impacts. This allowed investigating the relative importance of episodic wet-weather versus “continuous” dry-weather loads with a probabilistic approach to account for pollutant variability within the urban flows. The analysis at the scale of one year showed that storm events are significant contributors to the impacts of freshwater eutrophication and ecotoxicity compared to those arising from treated effluents. At the rain event scale the wet-weather contributions to these impacts are even more significant, accounting for example for up to 62% of the total impact on freshwater ecotoxicity. This also allowed investigating and discussing the ecotoxicity contribution of each class of pollutants among the broad range of inventoried substances. Finally, with such significant contributions of pollutant loads and associated impacts from wet-weather events, further research is required to better include temporally-differentiated emissions when evaluating eutrophication and ecotoxicity. This will provide a better understanding of how the performance of an UWS system affects the receiving environment for given local weather conditions.

**New outlook in BOD measurement and bioprocess management: the Enverdi® kit**

M. MULLER, S. BELLATON, A. YORIS, S. GUERIN-RECHDAOUI, L. CLOUSIER, V. ROCHER

Knowing the quantity and biodegradability of wastewater organic matter (OM) is really essential for the optimization of modern biological treatment processes, particularly when considering the highly challenging context for sewage treatment plant operators. However, the current standard methods for wastewater characterisation, as for 5-days biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>) measurement, OM fractionation analysis and bacterial inhibitor detection, show very poor suitability for routine operational use. In this paper, the efficiency of the commercial Enverdi® method (fluorimetric respirometry) for such analytical applications is investigated, especially for the BOD<sub>5</sub>-equivalent measurement in municipal wastewater samples. The result of numerous experiments showed that the BOD<sub>5</sub> values obtained from the alternative Enverdi® method and the main standard methods are statistically equivalent. The analytical performances of the Enverdi® method was found similar to the standard BOD<sub>5</sub> method specifications and perfectly matched the French regulatory requirements in force. The regulatory acceptance of this method is presently under consideration. Such an outlook would be really valuable for end-users given the main advantages of this analytical solution which is time- and space-saving, user-friendly and financially competitive. In addition to BOD<sub>5</sub> measurement, the fluorimetric respirometry displayed very promising abilities for the OM fractionation and the detection of bacterial inhibitors in wastewater.

### Energy consumption reduction in a waste water treatment plant

S. AZIMI, V. ROCHER

Against the background of energy transition, the operators of large municipal WWTPs have come to understand the importance of issues related to energy use. Since about 2000, one such operator in the Paris conurbation, Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne, has set up actions enabling energy consumption optimization, to reduce both its costs and the associated environmental impacts. Using energy (electricity, gas, fuel, and biogas) meters for sectorial recording, consumption has been mapped at various scales (macroscopic, plant, process). Electric power has emerged as the leading energy source in WWTPs and biological treatment processes (aeration) as the main consumers. On this basis, energy use optimization paths have been described, needing action at three levels. First, operating cost optimization should involve the full treatment chain, including all costs (reagents, etc.), to make the best operating choices. Two further levels, comprising process and equipment, should then be considered to determine suitable action sets.

IFAC – Volume 50, Issue1, July 2017, pages 7657-7662

### A simple and efficient feedback control strategy for wastewater denitrification

C. JOIN, J. BERNIER, S. MOTTELET, M. FLIESS, S. RECHDAOUI, S. AZIMI, V. ROCHER

Due to severe mathematical modeling and calibration difficulties open-loop feedforward control is mainly employed today for wastewater denitrification, which is a key ecological issue. In order to improve the resulting poor performances a new model-free control setting and its corresponding "intelligent" controller are introduced. The pitfall of regulating two output variables via a single input variable is overcome by introducing also an open-loop knowledge-based control deduced from the plant behavior. Several convincing computer simulations are presented and discussed.

Waste Management – Volume 59, pages 379-393

### Fate of emerging and priority micropollutants during the sewage sludge treatment: Case study of Paris conurbation. Part 1: Contamination of the different types of sewage sludge

R. MAILLER, J. GASPERI, D. PATUREAU, E. VULLIET, N. DELGENES, A. DANIEL, S. DESHAYES, V. EUDES, S. GUERIN, R. MOILLERON, G. CHEBBO, V. ROCHER

This article provides data on the contamination of different kinds of sludge (raw, centrifuged, digested, thermally dried sludge and sludge cake) from Paris conurbation by 71 various pollutants including pharmaceutical products (PHPs), hormones, perfluorinated acids (PFAs), linear alkylbenzene sulfonate (LAS), alkylphenols (APs), phthalates (PAEs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorobiphenyls (PCBs). Very high contents of LAS (0.1–10 g/kg dry matter – DM) compared to other compounds were found in all types of sludge followed by DEHP (10–100 mg/kg DM) and fluoroquinolones (1–100 mg/kg DM). APs were measured at intermediary contents in Parisian sludge, lying in the 2–20 mg/kg DM range. Finally, hormones, PAHs, PCBs, PAEs, PFAs and the remaining PHPs were all found at contents lower than 1 mg/kg DM. For most compounds (PHPs, PFOS, DEHP, PAHs), no significant differences in the micropollutant contents were found for similar types of sludge from different WWTP in Paris, highlighting the homogeneity of sludge contamination in downstream Paris catchment. The variability of concentration is rather high (coefficient of variation >100%) for several PHPs, PFAs or PCBs while it is moderate (<100%) or low (<50%) for fluoroquinolones, hormones, PAHs, APs or LAS. In addition, digestion seems to have a buffer effect as variabilities are lower in digested sludge for PHPs, PFAs, APs and PCBs. During sludge treatment (centrifugation, digestion, thermal drying, sludge conditioning + press filtration), the hormones, LAS, APs, PAHs, DEHP and PCBs concentrations increased, while those of PHPs and PFAs decreased. In the case of digestion, the increase of content can be explained by no pollutant removal or a lower removal than DM removal (concentration phenomenon) whereas the decrease underlines that the compound is more removed than the DM. In any case, these concentration variations presuppose the mechanisms of dissipation that could be attributed to volatilization, biotic or abiotic transformation (complete or with metabolites production), bound residues formation. In addition, data on sludge liquors - centrifuged (CW) and condensed (TDW) waters – from respectively centrifugation and thermal drying were collected. Several hormones, PHPs, PFAs, LAS, PAEs, APs, PCBs and PAHs were quantified in CW and TDW, displaying a transfer through the water removal. The concentrations observed are rather comparable to those found in wastewater.

## Publiées en 2016

Environmental Science and Pollution Research – June 2016, 17 pages

### Estimating ecosystem metabolism from continuous multi-sensor measurements in the Seine River

N. ESCOFFIER, N. BENSOUSSAN, L. VILMIN, N. FLIPO, V. ROCHER, A. DAVID, F. METIVIER, A. GROLEAU

Large rivers are important components of the global C cycle. While they are facing an overall degradation of their water quality, little remains known about the dynamics of their metabolism. In the present study, we used continuous multi-sensors measurements to assess the temporal variability of gross primary production (GPP) and ecosystem respiration (ER) rates of the anthropized Seine River over an annual cycle. Downstream from the Paris urban area, the Seine River is net heterotrophic at the annual scale ( $-226 \text{ gO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ year}^{-1}$  or  $-264 \text{ gC m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ ). Yet, it displays a net autotrophy at the daily and seasonal scales during phytoplankton blooms occurring from late winter to early summer. Multivariate analyses were performed to identify the drivers of river metabolism. Daily GPP is best predicted by chlorophyll a (Chla), water temperature (T), light, and rainfalls, and the coupling of daily GPP and Chla allows for the estimation of the productivity rates of the different phytoplankton communities. ER rates are mainly controlled by T and, to a lesser extent, by Chla. The increase of combined sewer overflows related to storm events.

Global Biogeochemical Cycles – Juin 2016, 1 pages

### Carbon fate in a large temperate human-impacted river system: Focus on benthic dynamics

L. VILMIN, N. FLIPO, N. ESCOFFIER, V. ROCHER, A. GROLEAU

Fluvial networks play an important role in regional and global carbon (C) budgets. The Seine River, from the Paris urban area to the entrance of its estuary (220 km), is studied here as an example of a large human-impacted river system subject to temperate climatic conditions. We assess organic C (OC) budgets upstream and downstream from one of the world's largest wastewater treatment plants and for different hydrological conditions using a hydrobiogeochemical model. The fine representation of sediment accumulation on the river bed allows for the quantification of pelagic and benthic effects on OC export toward the estuary and on river metabolism (i.e., net  $\text{CO}_2$  production). OC export is significantly affected by benthic dynamics during the driest periods, when 25% of the inputs to the system is transformed or stored in the sediment layer. Benthic processes also substantially affect river metabolism under any hydrological condition. On average, benthic respiration accounts for one third of the total river respiration along the studied stretch ( $0.27$  out of  $0.86 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). Even though the importance of benthic processes was already acknowledged by the scientific community for headwater streams, these results stress the major influence of benthic dynamics, and thus of physical processes such as sedimentation and resuspension, on C cycling in downstream river systems. It opens the door to new developments in the quantification of C emissions by global models, whereby biogeochemical processing and benthic dynamics should be taken into account.

Water Research – Volume 102, October 2016, pages 41-51

### N<sub>2</sub>O emissions from full-scale nitrifying biofilters

J. BOLLON, A. FILALI, Y. FAYOLLE, S. GUERIN, V. ROCHER, S. GILLOT

A full-scale nitrifying biofilter was continuously monitored during two measurement periods (September 2014; February 2015) during which both gaseous and liquid  $\text{N}_2\text{O}$  fluxes were monitored on-line. The results showed diurnal and seasonal variations of  $\text{N}_2\text{O}$  emissions. A statistical model was run to determine the main operational parameters governing  $\text{N}_2\text{O}$  emissions. Modification of the distribution between the gas phase and the liquid phase was observed related to the effects of temperature and aeration flow on the volumetric mass transfer coefficient (kLa). With similar nitrification performance values, the  $\text{N}_2\text{O}$  emission factor was twice as high during the winter campaign. The increase in  $\text{N}_2\text{O}$  emissions in winter was correlated to higher effluent nitrite concentrations and suspected increased biofilm thickness.

Science of The Total Environment – Volume 563-564; September 2016, pages 320-328

### **Full-scale post denitrifying biofilters: sinks of dissolved N<sub>2</sub>O?**

J. BOLLON, A. FILALI, Y. FAYOLLE, S. GUERIN, V. ROCHER, S. GILLOT

In this study, nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions from a full-scale denitrifying biofilter plant were continuously monitored over two periods (summer campaign in September 2014 and winter campaign in February 2015). Results of the summer campaign showed that the major part (>99%) of N<sub>2</sub>O flux was found in the liquid phase and was discharged with the effluent. N<sub>2</sub>O emissions were highly variable and represented in average  $1.28 \pm 1.99\%$  and  $0.22 \pm 0.31\%$  of the nitrate uptake rate during summer and winter campaigns, respectively. Denitrification was able to consume a large amount of dissolved N<sub>2</sub>O coming from the upstream nitrification stage. In the absence of methanol injection failure and with an influent BOD/NO<sub>3</sub>-N ratio higher than 3, average reduction of N<sub>2</sub>O was estimated to be of 93%. The control of exogenous carbon dosage is essential to minimize N<sub>2</sub>O production from denitrifying biofilters, in correlation to N<sub>2</sub>O-N concentrations in the filter.

Environmental Science and Pollution Research – May 2016, 4 pages

### **Cosmet'eau – Changes in the personal care product consumption practices: from whistle-blowers to impacts on aquatic environments**

A. BRESSY, C. CARRE, E. CAUPOS, B. DE GOUVELLO, J-F. DEROUBAIX, J-C. DEUTSCH, R. MAILLER, A. MARCONI, P. NEVEU, L. PAULIC, S. PICHON, V. ROCHER, I. SEVERIN, M. SOYER, R. MOILLERON

The Cosmet'eau project (2015–2018) investigates the changes in the personal care product (PCP) consumption practices: from whistleblowers to impacts on aquatic environments. In this project, the example of PCPs will be used to understand how public health concerns related to micropollutants can be addressed by public authorities—including local authorities, industries, and consumers. The project aims to characterize the possible changes in PCP consumption practices and to evaluate the impact of their implementation on aquatic contamination. Our goals are to study the whistleblowers, the risk perception of consumers linked with their practices, and the contamination in parabens and their substitutes, triclosan, and triclocarban from wastewater to surface water. The project investigates the following potential solutions: modifications of industrial formulation or changes in consumption practices. The final purpose is to provide policy instruments for local authorities aiming at building effective strategies to fight against micropollutants in receiving waters.

Bioresource Technology – Volume 206, April 2016, pages 279-284

### **Early assessment of a rapid alternative method for the estimation of the biomethane potential of sewage sludge**

S. BELLATON, S. GUERIN, N. PAUTREMAT, J. BERNIER, M. MULLER, S. MOTTELET, S. AZIMI, A. PAUSS, V. ROCHER

This short communication briefly presents a rapid method using a fluorescent redox indicator, similar to resazurin, in order to estimate the biodegradability of sewage sludge during anaerobic digestion (AD). The biodegradability and by extension the Biochemical Methane Potential (BMP) of nineteen municipal sludge samples (primary, biological and tertiary) were investigated and estimated in only 48 h. Results showed the relevance to follow the metabolic activity of anaerobic sludge by the kinetic of probe reduction. The extended lag phase of inoculum indicated an impact of pre-treatments on enzyme activity. The comparison with Automatic Methane Potential Test System II (AMPTS) confirmed the estimated values of BMP according to an uncertainty limit of 25%. These first results highlight the interest of this rapid assay as a preliminary tool of the biodegradability of sewage sludge in anaerobic digestion.

Journal of Environmental Chemical Engineering – Volume 4, March 2016, pages 1102-1109

### **Removal of emerging micropollutants from wastewater by activated carbon adsorption: Experimental study of different activated carbons and factors influencing the adsorption of micropollutants in wastewater**

R. MAILLER, J. GASPERI, Y. COQUET, C. DEROME, A. BULETE, E. VULLIET, A. BRESSY, G. VARRAULT, G. CHEBBO, V. ROCHER

Activated carbon processes, initially designed for drinking water production, are tested for wastewater application in order to characterize their efficiency to remove micropollutants from wastewater treatment plants (WWTPs) discharges. In that purpose, a pilot was studied by the Paris sanitation service (SIAAP) and the water environment and urban systems laboratory (LEESU). The in-situ study raised several additional questions related to the structural and morphological prop-

erties of activated carbons, in order to select the proper material, the influence of operational parameters such as the activated carbon dose and the contact time, the role of organic matter concentration and composition, the presence of a residual concentration of methanol or the impact of ferric chloride addition. Thus, various complementary experiments were carried out at laboratory scale to improve the understanding of the micropollutants adsorption process on activated carbon, in particular on powdered activated carbon (PAC). The results have highlighted a strong link between the efficiency of PACs and their specific surface (BET), which can be easily estimated by their bulk density. The study of the sorption process has also confirmed the strong influence of the PAC dose and the rapidity of the sorption kinetic. From an operational point of view, the ferric chloride injection seems to slightly improve most of the detected compounds adsorption, probably thanks to the coagulation of the dissolved organic matter colloidal fraction. In contrary, the presence in the water of a residual concentration of methanol seems to have no impact on the micropollutant fate. The influence of the wastewater matrix is strong, with notably lower adsorption in water from primary settling compared to various WWTP discharges. However, the dissolved organic carbon concentration is not always sufficient to explain sorption competitions in wastewater, and the nature of the organic matter should be considered too. In particular, the carbon removal from biological treatments is the step that clearly modifies both the quantity and the composition of the organic matter. It has been observed that discharges from WWTPs operating with different biological processes (activated sludge, membrane bioreactor or biofiltration) have similar organic matter concentrations and compositions, and allows comparable removals of organic matter and micropollutants by adsorption. The lower performances on micropollutants observed in the settled water can be explained by the higher quantity of protein-like molecules (fluorophores I $\delta$  and I $\gamma$ ), which compose the most competitive organic matter fraction for adsorption on activated carbon, compared to the other waters.

Science of The Total Environment – Volume 542, Part A; January 2016, pages 983-996

### **Removal of a wide range of emerging pollutants from wastewater treatment plant discharges by micro-grain activated carbon in fluidized bed as tertiary treatment at large pilot scale**

R. MAILLER, J. GASPERI, Y. COQUET, A. BULETE, E. VULLIET, S. DESHAYES, S. ZEDEK, C. MIRANDE-BRET, V. EUDES, A. BRESSY, E. CAUPOS, R. MOILLERON, G. CHEBBO, V. ROCHER

Among the solutions to reduce micropollutant discharges into the aquatic environment, activated carbon adsorption is a promising technique and a large scale pilot has been tested at the Seine centre (240,000 m<sup>3</sup>/d — Paris, France) wastewater treatment plant (WWTP). While most of available works studied fixed bed or contact reactors with a separated separation step, this study assesses a new type of tertiary treatment based on a fluidized bed containing a high mass of activated carbon, continuously renewed. For the first time in the literature, micro-grain activated carbon ( $\mu$ GAC) was studied. The aims were (1) to determine the performances of fluidized bed operating with  $\mu$ CAG on both emerging micropollutants and conventional wastewater quality parameters, and (2) to compare its efficiency and applicability to wastewater to former results obtained with PAC. Thus, conventional wastewater quality parameters (n = 11), pharmaceuticals and hormones (PPHs; n = 62) and other emerging pollutants (n = 57) have been monitored in  $\mu$ GAC configuration during 13 campaigns. A significant correlation has been established between dissolved organic carbon (DOC), PPHs and UV absorbance at 254 nm (UV-254) removals. This confirms that UV-254 could be used as a tertiary treatment performance indicator to monitor the process. This parameter allowed identifying that the removals of UV-254 and DOC reach a plateau from a  $\mu$ GAC retention time (SRT) of 90–100 days. The  $\mu$ GAC configuration substantially improves the overall quality of the WWTP discharges by reducing biological (38–45%) and chemical oxygen demands (21–48%), DOC (13–44%) and UV-254 (22–48%). In addition, total suspended solids (TSS) are retained by the  $\mu$ GAC bed and a biological activity (nitrification) leads to a total elimination of NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. For micropollutants, PPHs have a good affinity for  $\mu$ GAC and high (>60%) or very high (>80%) removals are observed for most of the quantified compounds (n = 22/32), *i.e.* atenolol (92–97%), carbamazepine (80–94%), ciprofloxacin (75–95%), diclofenac (71–97%), oxazepam (74–91%) or sulfamethoxazole (56–83%). In addition, alkylphenols, artificial sweeteners, benzotriazole, bisphenol A, personal care products (triclocarban and parabens) and pesticides have removals lying in the 50 → 90% range. Overall, the fluidized bed of  $\mu$ GAC allows obtaining performances comparable to PAC at the same activated carbon dose. Indeed, the average removal of the 13 PPHs found at a high occurrence (>75%) in WWTP discharges is similar at 20 g/m<sup>3</sup> of  $\mu$ GAC (78–89%) and PAC (85–93%). In addition, this recycled  $\mu$ GAC operation leads to several operational advantages (no FeCl<sub>3</sub>, reactivable, higher SRT, higher treated flow) and has a stronger impact on the overall wastewater quality compared to PAC.

**Influence of the water quality improvement on fish population in the Seine River (Paris, France) over the 1990–2013 period**

S. AZIMI, V. ROCHER

Over the past 20 years, rules concerning wastewater treatment and quality of water discharged into the environment have changed considerably. Huge investments have been made in Paris conurbation to improve waste water treatment processes in accordance with the European Water Framework Directive. The interdepartmental association for sewage disposal in Paris conurbation (SIAAP) carried out a monitoring of both fish assemblages and water quality in the Seine River around the Paris conurbation (France) since the early 90's. The main goal of this study was to estimate the influence of the water quality improvement on fish. On one hand, the study confirmed the improvement of the water quality (dissolved oxygen, ammonia nitrogen, organic matter) in the Seine River, mostly focused downstream of Paris conurbation. On the other hand, an increase of the number of species occurred from 1990 (14) to 2013 (21). Moreover, changes in the river Seine assemblages happened over that 23-year period with emergence of sensitive species (ruffe, scalpin and pike-perch). The improvement of the water quality was also reported with respect to the Index of Biotic Integrity (IBI). However, no variation of pollutant concentrations in roach, eel and chub muscles has been observed. An exceedance of the environmental quality standards have even been reported all over this period as regards mercury and organochlorine.

## Publiées en 2015

17th International Congress of Metrology by EDP Sciences 2015

**Validation of a BOD<sub>5</sub> alternative method**

A. MAGNIN, M. MULLER, A. YORIS, S. GUERIN, V. ROCHER, Y. DUDAL

La DBO<sub>5</sub> (Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours) permet de mesurer la charge en matière organique biodégradable d'un échantillon d'eau. Proposé pour la première fois en 1912 par la Royal Commission for Sewage Disposal en Angleterre, la DBO<sub>5</sub> est désormais un paramètre incontournable à l'évaluation des performances d'une station d'épuration et au calcul des redevances pour pollution. Bien que simple d'utilisation, le bas-débit, la durée, le domaine de validité et l'encombrement du matériel rendent l'analyse DBO<sub>5</sub> peu opérationnelle. Ainsi, des méthodes alternatives voient progressivement le jour afin de pallier à ces inconvénients. Cette publication présente la validation d'Enverdi-DBO, une solution alternative à la méthode standard, réalisée en microplaque 96-puits et délivrant un résultat en 48 h. La technologie repose sur la mesure de la fluorescence d'une sonde redox exprimant l'activité catabolique microbienne. Cette validation se base sur l'analyse, selon la méthode Enverdi-DBO et la méthode standard, de 261 échantillons d'eaux usées et épurées provenant de différentes stations d'épuration urbaines. L'analyse statistique des résultats indique que les valeurs de DBO<sub>5</sub> obtenues selon les deux méthodes sont équivalentes.

Environmental Technology – 9 pages

**Initial and hourly headloss modelling on a tertiary nitrifying wastewater biofiltration plant**

J. BERNIER, V. ROCHER, P. LESSARD

The headloss prediction capability of a wastewater biofiltration model is evaluated on data from a full-scale tertiary nitrifying biofilter unit located in the Paris conurbation (Achères, France; 6,000,000 population equivalent). The model has been previously calibrated on nutrient conversion and TSS filtration observations. In this paper the mass of extracted biofilm during biofilter backwash and the headloss value at the start of an operation cycle are first calibrated on sludge production estimations and relative pressure measurements over the year 2009. The calibrated model is then used on two one-month periods in 2012 for which hourly headloss measurements were acquired. The observed trends are correctly predicted for 2009 but the model exhibits some heavy daily variation that is not found in measurements. Hourly predictions stay close to observations, although the model error rises slightly when the headloss does not vary much. The global model shows that both nutrient conversion and headloss build-up can be reasonably well predicted at the same time on a full-scale plant.

Environmental Chemistry – July 2015, 8 pages

**Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris**

R. DRIS, J. GASPERI, V. ROCHER, M. SAAD, N. RENAULT, B. TASSIN

This study investigates the microplastic contamination of both urban compartments (wastewater and total atmospheric fallout) and surface water in a continental environment. These first investigations on an urban environment confirm the presence of microplastics in sewage, fresh water and total atmospheric fallout and provide knowledge on the type and size distribution of microplastics in the 100–5000- $\mu\text{m}$  range. For the first time, the presence of microplastics, mostly fibres, is highlighted in total atmospheric fallout (29–280 particles  $\text{m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ). High levels of fibres were found in wastewater (260–320  $\times 10^3$  particles  $\text{m}^{-3}$ ). In treated effluent, the contamination significantly decreased to 14–50  $\times 10^3$  particles  $\text{m}^{-3}$ . In the River Seine, two sampling devices were used to collect both large and small microplastic particles: (i) a plankton net (80- $\mu\text{m}$  mesh), and (ii) a manta trawl (330- $\mu\text{m}$  mesh). Sampling with the plankton net showed a predominance of fibres, with concentrations ranging from 3 to 108 particles  $\text{m}^{-3}$ . A greater diversity of both microplastic shapes and types was found during manta trawl sampling but at much lower concentrations (0.28–0.47 particles  $\text{m}^{-3}$ ). This combined approach could be relevant and implemented in future studies to provide an accurate overview of microplastic distribution in freshwater.

Environmental Science and Pollution Research – July 2015, 14 pages

**Influence of effluent organic matter on copper speciation and bioavailability in rivers under strong urban pressure**

Z. MATAR, C. SOARES PEREIRA, G. CHEBBO, E. UHER, M. TROUPEL, L. BOUDAHMANE, M. SAAD, C. GOURLAY-FRANCE, V. ROCHER, G. VARRAULT

This study focuses on spatiotemporal variations in the type of dissolved organic matter (DOM) and copper binding ability both upstream and downstream of Paris. It also compares the relative influence of both natural DOM upstream of Paris and effluent dissolved organic matter (EfDOM) output from a wastewater treatment plant (WWTP) on trace metal speciation and bioavailability in aquatic systems. In addition to the typical high- and low affinity binding sites, a third family of very high-affinity binding sites has been highlighted for EfDOM. In receiving waters downstream of Paris during low-flow periods, the percentage of high- and very high-affinity sites originating from EfDOM reaches nearly 60%. According to the speciation computation, the free copper concentration upstream of Paris exceeds the downstream Paris concentration by a factor of 2 to 4. As regards copper bioavailability, the highest EC50<sub>tot</sub> values were observed for EfDOM and downstream DOM, with a very low aromaticity and low UV absorbance. This finding suggests that specific ultraviolet absorbance (SUVA) is unlikely to be useful in assessing metal speciation and toxicity in aquatic systems subject to strong urban pressures. These results also highlight that the copper speciation computation for surface water exposed to considerable human pressures should include not only the humic and/or fulvic part of dissolved organic carbon but more hydrophilic fractions as well, originating for example from EfDOM.

Environmental Science and Pollution Research – February 2015, 12 pages

**Nitrite accumulation during denitrification depends on the carbon quality and quantity in wastewater treatment with biofilters**

V. ROCHER, A. LAVERMAN, J. GASPERI, S. AZIMI, S. GUERIN, S. MOTTELET, T. VILLIERES, A. PAUSS

This study aims to understand the mechanisms of nitrite appearance during wastewater denitrification by biofilters, focusing on the role of the carbon source. Experiments were carried out at lab-scale (batch tests) and full-scale plant (Parisian plant, capacities of 240,000  $\text{m}^3 \text{day}^{-1}$ ). Results showed that the nature of the carbon source affects nitrite accumulation rates. This accumulation is low, 0.05 to 0.10 g  $\text{N-NO}_2^-$  per g  $\text{N-NO}_3^-$  eliminated, for alcohols such as methanol, ethanol, or glycerol. The utilization of glycerol leads to fungal development causing clogging of the biofilters. This fungal growth and consequent clogging exclude this carbon source, with little nitrite accumulation, as carbon source for denitrification. Whatever the carbon source, the C/N ratio in the biofilter plays a major role in the appearance of residual nitrite; an optimal C/N ratio from 3.0 to 3.2 allows a complete denitrification without any nitrite accumulation.



**Modelling the fate of nitrite in an urbanized river using experimentally obtained nitrifier growth parameters**

M. RAIMONET, L. VILMIN, N. FLIPO, V. ROCHER, A-M. LAVERMAN

Maintaining low nitrite concentrations in aquatic systems is a major issue for stakeholders due to nitrite's high toxicity for living species. This study reports on a cost-effective and realistic approach to study nitrite dynamics and improve its modelling in human-impacted river systems. The implementation of different nitrifying biomasses to model riverine communities and waste water treatment plant (WWTP)-related communities enabled us to assess the impact of a major WWTP effluent on in-river nitrification dynamics. The optimal kinetic parameters and biomasses of the different nitrifying communities were determined and validated by coupling laboratory experiments and modelling. This approach was carried out in the Seine River, as an example of a large human-impacted river with high nitrite concentrations. The simulation of nitrite fate was performed at a high spatial and temporal resolution ( $\Delta t = 10$  min,  $dx = 500$  m) including water and sediment layers along a 220 km stretch of the Seine River for a 6-year period (2007–2012). The model outputs were in good agreement with the peak of nitrite downstream the WWTP as well as its slow decrease towards the estuary. Nitrite persistence between the WWTP and the estuary was mostly explained by similar production and consumption rates of nitrite in both water and sediment layers. The sediment layer constituted a significant source of nitrite, especially during high river discharges ( $0.1\text{--}0.4$  mgN  $h^{-1} m^{-2}$ ). This points out how essential it is to represent the benthic layer in river water quality models, since it can constitute a source of nitrite to the water-column. As a consequence of anthropogenic emissions and in-river processes, nitrite fluxes to the estuary were significant and varied from  $4.1$  to  $5.5$  TN  $d^{-1}$  in low and high water discharge conditions, respectively, over the 2007–2012 period. This study provides a methodology that can be applied to any anthropized river to realistically parametrize autochthonous and WWTP-related nitrifier communities and simulate nitrite dynamics. Based on simulation analysis, it is shown that high spatio-temporal resolution hydro-ecological models are efficient to 1) estimate water quality criteria and 2) forecast the effect of future management strategies. Process-based simulations constitute essential tools to complete our understanding of nutrient cycling, and to decrease monitoring costs in the context of water quality and eutrophication management in river ecosystems.

**Study of a large scale powdered activated carbon pilot: Removals of a wide range of emerging and priority micropollutants from wastewater treatment plant effluents**

R. MAILLER, J. GASPERI, Y. COQUET, S. DESHAYES, S. ZEDEK, C. CREAN-OLIVE, CARTISER, V. EUDES, A. BRESSY, E. CAUPOS, R. MOILLERON, G. CHEBBO, V. ROCHER

The efficacy of a fluidized powdered activated carbon (PAC) pilot (CarboPlus®) was studied in both nominal (total nitrification + post denitrification) and degraded (partial nitrification + no denitrification) configuration of the Seine centre WWTP (Colombes, France). In addition to conventional wastewater parameters 54 pharmaceuticals and hormones (PhPHs) and 59 other emerging pollutants were monitored in influents and effluents of the pilot. Thus, the impacts of the WWTP configuration, the process operation and the physico-chemical properties of the studied compounds were assessed in this article. Among the 26 PhPHs quantified in nominal WWTP configuration influents, 8 have high dissolved concentrations ( $>100$  ng/L), 11 have an intermediary concentration ( $10\text{--}100$  ng/L) and 7 are quantified below  $10$  ng/L. Sulfamethoxazole is predominant (about 30% of the sum of the PhPHs). Overall, 6 PhPHs are poorly to moderately removed ( $<60\%$ ), such as ibuprofen, paracetamol or estrone, while 9 are very well removed ( $>80\%$ ), i.e. beta blockers, carbamazepine or trimethoprim, and 11 are well eliminated ( $60\text{--}80\%$ ), i.e. diclofenac, naproxen or sulfamethoxazole. In degraded WWTP configuration, higher levels of organic matter and higher concentrations of most pollutants are observed. Consequently, most PhPHs are substantially less removed in percentages but the removed flux is higher. Thus, the PAC dose required to achieve a given removal percentage is higher in degraded WWTP configuration. For the other micropollutants (34 quantified), artificial sweeteners and phthalates are found at particularly high concentrations in degraded WWTP configuration influents, up to  $\mu g/L$  range. Only pesticides, bisphenol A and parabens are largely eliminated ( $50\text{--}95\%$ ), while perfluorinated acids, PAHs, triclosan and sweeteners are not or weakly removed ( $<50\%$ ). The remaining compounds exhibit a very variable fate from campaign to campaign. The fresh PAC dose was identified as the most influencing operation parameter and is strongly correlated to performances. Charge and hydrophobicity of compounds have been recognized as crucial for the micropollutant adsorption on PAC, as well as the molecular weight. Finally, a PAC dose of  $10$  mg/L allows an average removal of  $72\text{--}80\%$  of the sum of the

PhPHs in nominal WWTP configuration. The comparison of the results with those from the scarce other studies tends to indicate that an extrapolation of them to different PAC processes and to other WWTPs could be possible and relevant, taking into account the differences of water quality from WWTP to WWTP.

## Publiées en 2014

**Assessment of floating plastic debris in surface water along the Seine**

J. GASPERI, R. DRIS, T. BONIN, V. ROCHER, B. TASSIN

This study is intended to examine the quality and quantity of floating plastic debris in the River Seine through use of an extensive regional network of floating debris-retention booms; it is one of the first attempts to provide reliable information on such debris at a large regional scale. Plastic debris represented between  $0.8\%$  and  $5.1\%$  of total debris collected by weight. A significant proportion consisted of food wrappers/containers and plastic cutlery, probably originating from voluntary or involuntary dumping, urban discharges and surface runoff. Most plastic items are made of polypropylene, polyethylene and, to a lesser extent, polyethylene terephthalate. By extrapolation, some 27 tons of floating plastic debris are intercepted annually by this network; corresponding to  $2.3$  g per Parisian inhabitant per year. Such data could serve to provide a first evaluation of floating plastic inputs conveyed by rivers.

**Modelling of a carbon removal biological aerated filter doing partial nitrification during large-scale secondary treatment**

J. BERNIER, V. ROCHER, S. GUERIN, P. LESSARD

A wastewater biofiltration model is used to assess the potential of modelling plant-sized secondary carbon removal biofilter units. Two distinct datasets collected at the Seine centre biofiltration plant (Colombes, France) are used. The model is first calibrated on multiple grab samples taken at different heights inside the filter media. Data from 24 hour composite samples at the unit influent and effluent over a 2 year period are then simulated. Additional data are used to estimate hourly concentration profiles from composite samples in order to correctly use both composite and grab samples during modelling. The calibrated model is in most cases able to correctly predict the general nutrient behaviour for both datasets. The results of statistical scores such as the mean error and the mean absolute error are low for soluble components and remain correct for particles during years 2008–2009. Only one parameter set containing few heavily modified values is used to obtain these results. Modelling plant-sized biofilters appears to be practical and can be useful for easily evaluating plant optimization scenarios.

**Priority and emerging pollutants in sewage sludge and fate during sludge treatment**

R. MAILLER, J. GASPERI, G. CHEBBO, V. ROCHER

This paper aims at characterizing the quality of different treated sludges from Paris conurbation in terms of micropollutants and assessing their fate during different sludge treatment processes (STP). To achieve this, a large panel of priority and emerging pollutants ( $n = 117$ ) have been monitored in different STPs from Parisian wastewater treatment plants including anaerobic digestion, thermal drying, centrifugation and a sludge cake production unit. Considering the quality of treated sludges, comparable micropollutant patterns are found for the different sludges investigated (in mg/kg DM – dry matter). 35 compounds were detected in treated sludges. Some compounds (metals, organotins, alkylphenols, DEHP) are found in every kinds of sludge while pesticides and VOCs are never detected. Sludge cake is the most contaminated sludge, resulting from concentration phenomenon during different treatments. As regards treatments, both centrifugation and thermal

drying have broadly no important impact on sludge contamination for metals and organic compounds, even if a slight removal seems to be possible with thermal drying for several compounds by abiotic transfers. Three different behaviors can be highlighted in anaerobic digestion: (i) no removal (metals), (ii) removal following dry matter (DM) elimination (organotins and NP) and (iii) removal higher than DM (alkylphenols – except NP – BDE 209 and DEHP). Thus, this process allows a clear removal of biodegradable micropollutants which could be potentially significantly improved by increasing DM removal through operational parameters modifications (retention time, temperature, pre-treatment, etc.).

Science of The Total Environment – Volume 493, 15 September 2014, pages 854-861

#### **First assessment of triclosan, triclocarban and paraben mass loads at a very large regional scale: Case of Paris conurbation (France)**

J. GASPERI, D. GEARA, C. LORGEUX, A. BRESSY, S. ZEDEK, V. ROCHER, A. EL SAMRANI, G. CHEBBO, R. MOILLERON

The objective of this study was to examine the occurrence of parabens (5 congeners), triclosan (TCS) and triclocarban (TCC) at the scale of the Parisian sewer network and to provide representative knowledge on these compounds in France for a large area. For this purpose and in collaboration with the Parisian public sanitation service (SIAAP) in charge of the collect and treatment of the Parisian wastewater, this study focused on seven main sewer trunks of the Paris conurbation, accounting for 1,900,000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, *i.e.*, about 8 million inhabitants. Concentrations lying in the 2000–20,000 ng l<sup>-1</sup> ranges were found in wastewater, confirming the ubiquity of parabens, TCS and TCC in our environment and household products. Parabens (>97%) and to a lesser extent TCS (68% in median) were mainly associated to the dissolved fraction, as demonstrated by low KD and KOC values. For the first time, this study also evaluated the pollutant mass loads per population equivalent (PE) of parabens, TCS and TCC at the large and representative scale of the Parisian conurbation. Hence, the median mass loads varied from 176 to 3040 µg PE<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> for parabens and from 26 to 762 µg PE<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> for TCS and TCC. Based on these results and according to the assumptions done, the extrapolation of the mass loads at the national scale pointed out an annual mass loads between 51.8 and 100.7 t y<sup>-1</sup> for methyl paraben (MeP) and between 11.2 and 23.5 t y<sup>-1</sup> for TCS. Mass loads per equivalent habitant and national mass loads are both extremely relevant and innovative data. Contrary to other countries, such data are nowadays rather difficult to gain in France and neither enquiry nor database provides access to information on the use and production of these chemicals. Since cosmetic industries are voluntarily and fully engaged in the substitution of parabens, triclosan and triclocarban in personal care product, this study could constitute a “time reference status” which could be used as a basis for future monitoring.

Science of The Total Environment – Volume 488-489, 1 August 2014, pages 26-35

#### **Phthalates and alkylphenols in industrial and domestic effluents: Case of Paris conurbation (France)**

A. BERGE, J. GASPERI, V. ROCHER, L. GRAS, A. COURSIMAULT, R. MOILLERON

Phthalates and alkylphenols are toxics classified as endocrine disrupting compounds (EDCs). They are of particular concern due to their ubiquity and generally higher levels found in the environment comparatively to other EDCs. Industrial and domestic discharges might affect the quality of receiving waters by discharging organic matter and contaminants through treated waters and combined sewer overflows. Historically, industrial discharges are often considered as the principal vector of pollution in urban areas. If this observation was true in the past for some contaminants, no current data are today available to compare the quality of industrial and domestic discharges as regards EDCs. In this context, a total of 45 domestic samples as well as 101 industrial samples were collected from different sites, including 14 residential and 33 industrial facilities. This study focuses more specifically on 4 phthalates and 2 alkylphenols, among the most commonly studied congeners. A particular attention was also given to routine wastewater quality parameters. For most substances, wastewaters from the different sites were heavily contaminated; they display concentrations up to 1200 µg/l for di-(2-ethylhexyl) phthalate and between 10 and 100 µg/l for diethyl phthalate and nonylphenol. Overall, for the majority of compounds, the industrial contribution to the flux of contaminant reaching the wastewater treatment plants ranges between 1 and 3%. The data generated during this work constitutes one of the first studies conducted in Europe on industrial fluxes for a variety of sectors of activity. The study of the wastewater contribution was used to better predict the industrial and domestic contributions at the scale of a huge conurbation heavily urbanized but with a weak industrial cover, illustrated by Paris. Our results indicate that specific investigations on domestic discharges are necessary in order to reduce the release of phthalates and alkylphenols in the sewer systems for such conurbations.

Journal of Environmental Engineering and Science – Volume 9, Issue JS3 July 2014

#### **Modelling headloss and two-step denitrification in a full-scale wastewater postdenitrifying biofiltration plant**

J. BERNIER, P. LESSARD, V. ROCHER

The NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NO<sub>2</sub><sup>-</sup> removal and headloss evolution behaviour of a post-denitrification wastewater biofiltration stage using methanol as an external carbon source was modelled. Three datasets collected on different time scales and at different locations on a full-size plant from the Paris conurbation (800,000 population equivalent) were used in this study. The model was first calibrated on a short-term experiment, during which a shift in the methanol to NO<sub>x</sub> ratio was imposed at the influent of a treatment lane. Measurements were taken at different frequencies at the effluent as well as at different heights inside the media bed. The model was then used on a 240-day period in 2008 to simulate the behaviour of the whole denitrification stage. Results were good overall for most simulated variables, although nitrite was overestimated for the long-term dataset. Results showed that the model is highly sensitive to variations on the amounts of methanol injected during treatment, especially regarding nitrite and headloss.

Environmental Science and Pollution Research – June 2014, 6 pages

#### **International cross-validation of a BOD<sub>5</sub> surrogate**

M. MULLER, S. BOUGUELIA, R-A. GOY, A. YORIS, J. BERLIN, P. MECHE, V. ROCHER, S. MERTENS, Y. DUDAL

BOD<sub>5</sub> dates back to 1912 when the Royal Commission decided to use the mean residence time of water in the rivers of England, 5 days, as a standard to measure the biochemical oxygen demand. Initially designed to protect the quality of river waters from extensive sewage discharge, the use of BOD<sub>5</sub> has been quickly extended to waste water treatment plants (WWTPs) to monitor their efficiency on a daily basis. The measurement has been automatized but remains a tedious, time- and resource-consuming analysis. We have cross-validated a surrogate BOD<sub>5</sub> method on two sites in France and in the USA with a total of 109 samples. This method uses a fluorescent redox indicator on a 96-wellmicroplate to measure microbial catabolic activity for a large number of samples simultaneously. Three statistical tests were used to compare surrogate and reference methods and showed robust equivalence.

## **Publiées en 2013**

Environmental Science and Pollution Research – December 2013, 14 pages

#### **Biofiltration vs conventional activated sludge plants: what about priority and emerging pollutants removal?**

R. MAILLER, J. GASPERI, V. ROCHER, S. GILBERT-PAWLIK, D. GEARA-MATTA, R. MOILLERON, G. CHEBBO

This paper compares the removal performances of two complete wastewater treatment plants (WWTPs) for all priority substances listed in the Water Framework Directive and additional compounds of interest including flame retardants, surfactants, pesticides, and personal care products (PCPs) (n = 104). First, primary treatments such as physicochemical lamellar settling (PCLS) and primary settling (PS) are compared. Similarly, biofiltration (BF) and conventional activated sludge (CAS) are then examined. Finally, there moval efficiency per unit of nitrogen removed of both WWTPs for micropollutants is discussed, as nitrogenous pollution treatment results in a special design of processes and operational conditions. For primary treatments, hydrophobic pollutants (log Kow>4) are well removed (>70%) for both systems despite high variations of removal. PCLS allows an obvious gain of about 20% regarding pollutant removals, as a result of better suspended solids elimination and possible coagulant impact on soluble compounds. For biological treatments, variations of removal are much weaker, and the majority of pollutants are comparably removed within both systems. Hydrophobic and volatile compounds are well (>60%) or very well removed (>80%) by sorption and volatilization. Some readily biodegradable molecules are better removed by CAS, indicating a better biodegradation. A better sorption of pollutants on activated sludge could

be also expected considering the differences of characteristics between a biofilm and flocs. Finally, comparison of global processes efficiency using removals of micropollutants load normalized to nitrogen shows that PCLS+BF is as efficient as PS+CAS despite a higher compactness and a shorter hydraulic retention time (HRT). Only some groups of pollutants seem better removed by PS+CAS like alkylphenols, flame retardants, ordi-2-ethylhexylphthalate (DEHP), thanks to better biodegradation and sorption resulting from HRT and biomass characteristics. For both processes, and out of the 68 molecules found in raw water, only half of them are still detected in the water discharged, most of the time close to their detection limit. However, some of them are detected at higher concentrations (>1 µg/L and/or lower than environmental quality standards), which is problematic as they represent a threat for aquatic environment.

Environmental Science and Pollution Research – November 2013, 13 pages

#### **Variation of raw wastewater microbiological quality in dry and wet weather conditions**

F. S. LUCAS, C. THERIAL, A. GONÇALVES, P. SERVAIS, V. ROCHER, J.-M. MOUCHEL

The microbiological quality of urban wastewaters presents important environmental, sanitary, and political challenges. However, the variability of untreated waste water quality is seldom known when it comes to microbial parameters. This study aims to evaluate the variability of microbiological quality in wastewater influents from different wastewater treatment plants connected to combined and partially separate sewer networks in the Parisian area and to evaluate the impact of this variability on the treatment efficiency and on the accuracy of wastewater effluent monitoring. The densities of fecal indicator bacteria (FIB), *Escherichia coli* and intestinal enterococci, and their partitioning on settleable particles were analyzed at the inlet of wastewater treatment plants during dry weather (130 composite samples and 7 days sampled every 2 hours) and storm events (39 composite samples, and 7 rain courses) from 2008 to 2012. The results showed that fecal indicator densities vary according to the network characteristics and according to the meteorological conditions. During storm events, a significant dilution of *E. coli* and enterococci was observed, as well as a decrease in the settleable fraction of *E. coli* during the maximal impact of the storm. However, storm events did not significantly impact the regular FIB monitoring. FIB removals by primary and secondary treatment were significantly correlated with FIB densities in influent wastewater; however, meteorological conditions also influenced the removal of FIB.

Bioprocess and Biosystem Engineering – June 2013, 12 pages

#### **Modelling the nitrification in a full-scale tertiary biological aerated filter unit**

J. BERNIER, V. ROCHER, S. GUERIN, P. LESSARD

A wastewater biofiltration model is used to assess its capacity to reproduce the treatment behaviour of a plant-sized tertiary nitrifying biofilter unit. It is calibrated on two different types of datasets collected at the SeineAval biofiltration plant (Achères, France): grab samples at several heights inside the media bed and a long-term daily plant monitoring over a 1-year period. The model parameters are first calibrated to fit the dynamics observed in the media bed, after which the model is compared to the second dataset. Further parameter changes are then made if necessary and the model is once again compared to both datasets to ensure its ability to predict the treatment behaviour on both size scales. The calibrated model provides correct predictions for most observed nutrient variables for both datasets. An overestimation of the oxygen transfer under a summer, low ammonia load period however leads to a slight underestimation of the nitrifying efficiency of the biofilters. Statistical score computation corroborates the model accuracy as the mean error scores usually remain low. They also point to a certain weakness of the model regarding the suspended solids filtration. Both datasets are overall correctly modelled using a single parameter set. Most of this parameter set is close to or contained in value ranges found in the literature. The parameters related to aeration, however, seem to be slightly higher than what is reported elsewhere.

## Publiées en 2012

Water Science and Technology – 2012, Volume 65 .9, pages 1713-1719.

#### **Municipal wastewater treatment by biofiltration: comparisons of various treatment layouts. Part 2: assessment of the operating costs in optimal conditions**

V. ROCHER, C. PAFFONI, A. GONÇALVES, S. AZIMI, A. PAUSS

This work aims to compare the operation costs (energy, reagents, waste management) for the three layouts usually used in wastewater treatment plants incorporating biofilters, using technical and economical data acquired during 10 years of operation of a Parisian plant (Seine centre, 240,000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> – 800,000 equivalent inhabitants). The final objective is to establish general economical data and tendencies that can be translated from our study to any biofiltration plant. Our results evidenced the savings achieved through the treatment process combining upstream and downstream denitrification. To use this layout reduced the operating costs by some 10% as compared with conventional processing only comprising downstream denitrification. Operating costs were respectively estimated at 37 and 34 €/1,000 m<sup>3</sup> for downstream denitrification and combining upstream and downstream denitrification layouts.

Water Science and Technology – 2012, Volume 65 .9, pages 1705-1712

#### **Municipal wastewater treatment by biofiltration: comparisons of various treatment layouts. Part 1: assessment of carbon and nitrogen removal**

V. ROCHER, C. PAFFONI, A. GONÇALVES, S. GUERIN, S. AZIMI, J. GASPERI, R. MOILLERON, A. PAUSS

One of the largest wastewater treatment plants in the Paris conurbation (240,000 m<sup>3</sup>/d) has been studied over several years in order to provide technical and economical information about biological treatment by biofiltration. Biofiltration systems are processes in which carbon and nitrogen pollution of wastewater are treated by ascendant flow through immersed fixed cultures. This paper, focused on technical information, aims: (1) to compare performances of the three biological treatment layouts currently used in biofiltration systems: upstream denitrification (UD), downstream denitrification (DD) and combined upstream-downstream denitrification (U-DD) layouts; and (2) to describe in detail each treatment step. Our study has shown that more than 90% of the carbon and ammoniacal pollution is removed during biological treatment, whatever the layout used. Nitrate, produced during nitrification, is then reduced to atmospheric nitrogen. This reduction is more extensive when the denitrification stage occurs downstream from the treatment (DD layout with methanol addition), whereas it is only partial when it is inserted upstream from the treatment (UD layout – use of endogenous carbonaceous substrate). So, the UD layout leads to a nitrate concentration that exceeds the regulatory threshold in the effluent, and the treatment must be supplemented with a post-denitrification step (U-DD layout). Our work has also shown that the optimal ammonium-loading rate is about 1.1–1.2 kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> per m<sup>3</sup> media (polystyrene) and day. For denitrification, the optimal nitrate-loading rate is about 2.5 kg N per m<sup>3</sup> media (expanded clay) and day in the case of DD with methanol, and is about 0.25 kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> per m<sup>3</sup> media and day in the case of UD with exogenous carbonaceous substrate.

Water Science and Technology – 2012, Volume 65 .9, pages 1591-1598

#### **Removal of alkylphenols and polybromodiphenylethers by a biofiltration treatment plant during dry and wet-weather periods**

S. GILBERT, J. GASPERI, V. ROCHER, C. LORGEUX, G. CHEBBO

This paper investigates the occurrence of alkylphenols (APs) and polybromodiphenylethers (PBDEs) in raw wastewater during dry and wet-weather periods, and their removal by physico-chemical lamellar settling and biofiltration techniques. Due to in-sewer deposit erosion and, to a lesser extent, to external inputs, raw effluents exhibit from 1.5 to 5 times higher AP and PBDE concentrations during wet periods compared with dry ones. The lamellar settler obtains high removal of APs and PBDEs under both dry and wet-weather flows (>53% for Σ6AP and >89% for Σ4PBDE), confirming the insensitivity of this technique to varying influent conditions. Indeed, despite the higher pollutant concentrations observed in raw effluents under wet-weather flows, adjusting the addition of coagulant-flocculent allows for efficient removal. By combining physical and biological processes, the

biofiltration unit treats nutrient pollution, as well as  $\Sigma 6\text{AP}$  and  $\Sigma 4\text{PBDE}$  contamination ( $58 \pm 5\%$  and  $75 \pm 6\%$  respectively). Although the operating conditions of the biofiltration unit are modified during wet periods, the performance in nutrient pollution, APs and light PBDE congeners remains high. Nevertheless, lower efficiency has been noted in nitrogen pollution, *i.e.* no denitrification occurs, and BDE-209 (not removed during wet-weather periods). In conclusion, this study demonstrates that the combination of both techniques treats AP and PBDE pollution efficiently during dry periods, but that they are also suitable for stormwater treatment.

Water research – 2012, Volume 46, pages 6693-6703

#### **Priority pollutants in urban stormwater: part 2 – Case of combined sewers**

J. GASPERI, S. ZGHEIB, M. CLADIÈRE, V. ROCHER, R. MOILLERON, G. CHEBBO

This study has evaluated the quality of combined sewer overflows (CSOs) in an urban watershed, such as Paris, by providing accurate data on the occurrence of priority pollutants (PPs) and additional substances, as well as on the significance on their concentrations in comparison with wastewater and stormwater. Of the 88 substances monitored, 49 PPs were detected, with most of these also being frequently encountered in wastewater and stormwater, thus confirming their ubiquity in urban settings. For the majority of organic substances, concentrations range between 0.01 and  $1 \mu\text{g. l}^{-1}$ , while metals tend to display concentrations above  $10 \mu\text{g. l}^{-1}$ . Despite this ubiquity, CSO, wastewater and stormwater feature a number of differences in both their concentration ranges and pollutant patterns. For most hydrophobic organic pollutants and some particulate-bound metals, CSOs exhibit higher concentrations than those found in stormwater and wastewater, due to the contribution of in-sewer deposit erosion. For pesticides and Zn, CSOs have shown concentrations close to those of stormwater, suggesting runoff as the major contributor, while wastewater appears to be the main source of volatile organic compounds. Surprisingly, similar concentration ranges have been found for DEHP and tributyltin compounds in CSOs, wastewater and stormwater. The last section of this article identifies substances for which CSO discharges might constitute a major risk of exceeding Environmental Quality Standards in receiving waters and moreover indicates a significant risk for PAHs, tributyltin compounds and chloroalkanes. The data generated during this survey can subsequently be used to identify PPs of potential significance that merit further investigation.

Water Pollution XI, 2012 – 12 pages

#### **Phthalate and alkylphenol removal within wastewater treatment plants using physicochemical lamellar clarification and biofiltration**

A. BERGE, J. GASPERI, V. ROCHER, A. COURSIMAULT, R. MOILLERON

Endocrine disrupting compounds (EDCs) have been found in surface waters worldwide. They are known for exerting adverse effects on animals of many species, including humans. EDCs comprise compounds of anthropogenic origin. They can enter waterways via either discharges from wastewater treatment plant (WWTPs), combined sewer overflows (CSO) or atmospheric deposition. In this work, the fate and removal of four phthalates and two alkylphenols: Diethyl phthalate (DEP), Di-n-Butyl phthalate (DnBP), Butyl Benzyl phthalate (BBP), Di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP), nonylphenol (NP) and octylphenol (OP) were investigated within a wastewater treatment plant (WWTP) using lamellar clarification and biofiltration. This plant receives about  $240,000 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  of wastewater. The whole treatment process comprises: screening, grit removal, primary sedimentation using coagulant and flocculant, followed by biofiltration units. Phthalates and alkylphenols were monitored at three locations, including raw sewage, before primary treatment, decanted effluents, before biological treatment, and final effluents, just before discharge to receiving waters. Nine campaigns were performed in 2011 during different seasons. In raw wastewater, DEHP was the major compound ( $32.42$  to  $71.88$ , median  $42.95 \mu\text{g. l}^{-1}$ ), followed by DEP ( $7.00$  to  $36.03$ , median  $21.00 \mu\text{g. l}^{-1}$ ) and NP ( $4.08$  to  $10.63$ , median  $5.95 \mu\text{g. l}^{-1}$ ). Other compounds averaged few  $\mu\text{g. l}^{-1}$ . During the WWTP treatment, DEP becomes major contaminant ( $0.46$  to  $6.77$ , median  $2.95 \mu\text{g. l}^{-1}$ ), followed by DEHP ( $0.95$  to  $6.43$ , median  $2.30 \mu\text{g. l}^{-1}$ ) and NP ( $0.31$  to  $1.36$ , median  $0.63 \mu\text{g. l}^{-1}$ ). Contaminant removal depends on the physicochemical characteristics of the compounds. For example, for lamellar clarification, removal efficiency was found to be strongly dependent to log Kow and, hence, to be highly correlated with their sorption coefficient (Kd). As a consequence, compounds with high log Kow ( $>3$ ) were removed to a significant extent. DEHP was highly removed by lamellar clarification (68.8%), followed by BBP (61.5%) and NP (51.0%). Besides, DEP (log Kow  $<3$ ) was slightly removed (13.8%). During biofiltration, both hydrophilic and hydrophobic compounds were equally eliminated. Therefore, DEP (87.3%), OP (88.0%) and DEHP (81.9%) were mostly removed during biological treatment.

Environmental Science and Pollution Research – Volume 20 (5) - September 2012, pages 2973-2983

#### **Alkylphenolic compounds and bisphenol A contamination within a heavily urbanized area: case study of Paris**

M. CLADIÈRE, J. GASPERI, C. LORGEUX, C. BONHOMME, V. ROCHER, B. TASSIN

This study evaluates the influence of a heavily urbanized area (Paris Metropolitan area), on receiving water contamination by both bisphenol A (BPA) and alkylphenol ethoxylate (APE) biodegradation product. The study began by investigating concentrations within urban sources. In addition to the more commonly studied wastewater treatment plant effluent, wet weather urban sources (including combined sewer overflows, urban runoff, and total atmospheric fallout) were considered. The initial results highlight a significant contamination of all urban sources (from a few nanograms per liter in atmospheric fallout to several micrograms per liter in the other sources) with clearly distinguishable distribution patterns. Secondly, concentration changes along the Seine River from upstream of the Paris Metropolitan area to downstream were investigated. While the concentrations of BPA and nonylphenoxyacetic acid (NP1EC) increase substantially due to urban sources, the 4-nonylphenol concentrations remain homogeneous along the Seine. These results suggest a broad dissemination of 4-nonylphenol at the scale of the Seine River basin. Moreover, the relationship between pollutant concentrations and Seine River flow was assessed both upstream and downstream of the Paris conurbation. Consequently, a sharp decrease in dissolved NP1EC concentrations relative to Seine River flow underscores the influence of single-point urban pollution on Seine River contamination. Conversely, dissolved 4-nonylphenol concentrations serve to reinforce the hypothesis of its widespread presence at the Seine River basin scale.

Chemical Engineering Journal – 2012, Volume 211-212, pages 293-301

#### **Treatment of combined sewer overflows by ballasted flocculation: Removal study of a large broad spectrum of pollutants**

J. GASPERI, B. LABORIE, V. ROCHER

This study aims at examining the performance of the ballasted flocculation unit (BFU) on treating combined sewer overflows (CSOs) and the evaluation depends on the values obtained of routine wastewater parameters and on the contents of a large broad spectrum of pollutants. Accordingly, the full-scale BFU at the largest wastewater treatment plant in Europe (Seine aval plant near Paris, France) is investigated during three sampling campaigns. Of the 97 molecules targeted, 57 substances including 18 priority substances and 11 priority hazardous substances were detected in the BFU influents confirming that wet weather flow (WWF) treatment has definitively proven to be necessary. The WWF treatment by ballasted flocculation appears as a promising but not a fully adapted technology for use in densely urbanized areas to considerably mitigate the CSO impacts. On operating at the optimal chemical and sand doses, this process appears to be a suitable technology to remove particles, carbonaceous and phosphorous pollutants, particulate metals and most of hydrophobic organic compounds whilst nitrogenous pollutants and most of hydrophilic compounds are from poorly ( $<20\%$ ) to moderately ( $<50\%$ ) removed. The BFU appeared less sensitive to the influent concentration fluctuations and hydraulic peak load (at the scale of the campaigns considered) than to the adjustments of chemical doses and sand injection. Investigating the performance of such process, could serve to develop management strategies that enable mitigating the impacts of CSOs on receiving water in compliance with the Water Framework Directive objectives.

## Publiées en 2011

Water Science and Technology – 2011, Volume 63 (5), pages 853-858

### Priority substances in combined sewer overflows: case study of the Paris sewer network

J. GASPERI, S. GARNAUD, V. ROCHER, R. MOILLERON

This study was undertaken to supply data on both priority pollutant (PP) occurrence and concentrations in combined sewer overflows (CSOs). A single rain event was studied on 13 sites within the Paris sewer network. For each sample, a total of 66 substances, including metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), pesticides, organotins, volatile organic compounds, chlorobenzenes, phthalates and alkylphenols were analyzed. Of the 66 compounds analyzed in all, 40 PPs including 12 priority hazardous substances were detected in CSOs. As expected, most metals were present in all samples, reflecting their ubiquitous nature. Chlorobenzenes and most pesticides were never quantified above the limit of quantification, while the majority of the other organic pollutants, except DEHP (median concentration: 22 mg.l<sup>-1</sup>), were found to lie in the mg.l<sup>-1</sup> range. For the particular rain event studied, the pollutant loads discharged by CSOs were evaluated and then compared to pollutant loads conveyed by the Seine River. Under the hydraulic conditions considered and according to the estimations performed, this comparison suggests that CSOs are potentially significant local source of metals, PAHs and DEHP. Depending on the substance, the ratio between the CSO and Seine River loads varied from 0.5 to 26, underscoring the important local impact of CSOs at the scale of this storm for most pollutants.

Water Research – 2011, Volume 45 (2), pages 893-903

### Impact of an intense combined sewer overflow event on the microbiological water quality of the Seine River

P. PASSERAT, N. K. OUATTARA, J.-M. MOUCHEL, V. ROCHER

For a better understanding of the short and mid-term impacts of a combined sewer overflow (CSO) on the microbiological quality of the receiving river, we studied the composition of a CSO discharge and monitored during several hours the changes in the concentration of fecal indicator bacteria (FIB) in the impacted river water mass. The CSO occurred at the Clichy outfall (Paris agglomeration, France) in summer 2008 as a result of the most intense rainfall of the year. In 6h, 578, 705 m<sup>3</sup> of sewage and 124 t of suspended matter (SM) were discharged into the Seine River. The CSO contained 1.5 × 10<sup>6</sup> *E. coli* and 4.0 × 10<sup>5</sup> intestinal enterococci per 100 mL on average, and 77% of the *E. coli* were attached to SM. It was estimated that 89% of the CSO discharge was contributed by surface water runoff, and that resuspension of sewer sediment contributed to ~75% of the SM, 10–70% of the *E. coli* and 40–80% of the intestinal enterococci. Directly downstream from the CSO outfall, FIB concentrations in the impacted water mass of the Seine River (2.9 × 10<sup>5</sup> *E. coli* and 7.6 × 10<sup>4</sup> intestinal enterococci per 100 mL) exceeded by two orders of magnitude the usual dry weather concentrations. After 13–14 h of transit, these concentrations had decreased by 66% for *E. coli* and 79% for intestinal enterococci. This decline was well accounted for by our estimations of dilution, decay resulting from mortality or loss of culturability and sedimentation of the attached fraction of FIB.

Environmental Science and Technology – 2011, Volume 45 (12), pages 5380-5386

### Mycobacterium behaviour in wastewater treatment plant, a bacterial model distinct from Escherichia coli and Enterococci

N. RADOMSKI, L. BETELLI, R. MOILLERON, S. HAENN, L. MOULIN, E. CAMBAU, V. ROCHER, A. GONCALVES, F. LUCAS

Mycobacteria are waterborne emerging pathogens causing infections in human. Mycobacteria have been previously isolated from wastewater and sludge, but their densities were not estimated due to cultural biases. In order to evaluate the impact of wastewater treatment processes on mycobacteria removal, we used a real time PCR method. First we compared six DNA extraction methods and second we used the more efficient DNA extraction procedure (*i.e.*, enzymatic lysis combined with hexadecyltrimethylammonium bromide-NaCl procedure) in order to quantify *Mycobacterium*. With the aim to identify parameters that could serve as indicator of mycobacterial behavior, mycobacterial densities were measured in parallel to those of *Escherichia coli* and enterococci, and to

concentrations of chemical parameters usually monitored in wastewater. Mycobacterium reached 5.5 × 10<sup>5</sup> (3.9 × 10<sup>5</sup> copies/L in the influent, but was not detected in the effluent after decantation and biofiltration. Most mycobacteria (98.6 (2.7%, *i.e.* 2.4 (0.7 log<sub>10</sub>)) were removed by the physical-chemical decantation, and the remaining mycobacteria were removed by biofiltration. In contrast, enterococci and *E. coli* were lightly removed by decantation step and mainly removed by biofiltration. Our results showed that Mycobacterium corresponds to a hydrophobic behavior linked to insoluble compound removal, where as enterococci and *E. coli* refer to hydrophilic behaviors linked to soluble compound removals.

Bioprocess and Biosystems Engineering – 2011, Volume 34 (6), pages 747-755

### Modeling nitrogen removal for a denitrification biofilter

G. SAMIE, J. BERNIER, V. ROCHER, P. LESSARD

Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) is a major greenhouse gas, heavily contributing to global warming. N<sub>2</sub>O is emitted from various sources such as wastewater treatment plants, during the nitrification and denitrification steps. ASM models, which are commonly used in wastewater treatment, usually consider denitrification as a one-step process (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> directly reduced to N<sub>2</sub>) and are as such unable to provide values for intermediate products of the reaction like N<sub>2</sub>O. In this study, a slightly modified ASM1 model was implemented in the GPS-XTM software to simulate the concentration of such intermediate products (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO and N<sub>2</sub>O) and to estimate the amounts of gaseous N<sub>2</sub>O emitted by the denitrification stage (12 biofilters) of the Seine centre WWTP (SIAAP, Paris). Simulations running on a 1-year period have shown good agreements with measured effluent data for nitrate and nitrite. The calculated mean value for emitted N<sub>2</sub>O is 4.95 kgN-N<sub>2</sub>O/day, which stands in the typical range of estimated experimental values of 4–31 kgN-N<sub>2</sub>O/day. Nitrous oxide emissions are usually not measured on WWTPs and so, as obtained results show, there is a certain potential for using models that quantify those emissions using traditionally measured influent data.

## Publiées en 2010

Proceedings of the Water Environment Federation (Congrès)

### Modeling nitrogen removal, including greenhouse gas, for a biofiltration wastewater treatment plant

G. SAMIE, J. BERNIER, V. ROCHER, P. LESSARD

Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) is a major greenhouse gas, heavily contributing to global warming. N<sub>2</sub>O is emitted from various sources such as wastewater treatment plants, during the nitrification and denitrification steps. ASM models, which are commonly used in wastewater treatment, usually consider denitrification as a one-step process (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> directly reduced to N<sub>2</sub>) and are as such unable to provide values for intermediate products of the reaction like N<sub>2</sub>O. In this study, a slightly modified ASM1 model was implemented in the GPS-XTM software in order to simulate the concentration of such intermediate products (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO and N<sub>2</sub>O) and to estimate the amounts of gaseous N<sub>2</sub>O emitted by the denitrification stage (12 biofilters) of the Seine centre WWTP (SIAAP, Paris). Simulations running on a one-year period have shown good agreements with measured effluent data for nitrate and nitrite. The calculated mean value for emitted N<sub>2</sub>O is 4.95 kgN-N<sub>2</sub>O/d, which stands in the typical range of estimated experimental values of 4 to 31 kgN-N<sub>2</sub>O/d. Nitrous oxide emissions are usually not measured on WWTPs and so, as obtained results show, there is a certain potential for using models that quantify those emissions using traditionally measured influent data.

### **Contribution of treated wastewater to the microbiological quality of Seine River in Paris**

L. MOULIN, F. RICHARD, S. STEFANIA, M. GOULET, S. GOSSELIN, A. GONÇALVES, V. ROCHER, C. PAFFONI, A. DUMETRE

Urban part of Seine River serving as drinking water supply in Paris can be heavily contaminated by *Cryptosporidium* spp. and *Giardia duodenalis*. In the absence of agricultural practice in this highly urbanized area, we investigated herein the contribution of treated wastewater to the microbiological quality of this river focusing on these two parasites. Other microorganisms such as faecal bacterial indicators, enteroviruses and oocysts of *Toxoplasma gondii* were assessed concurrently. Raw wastewaters were heavily contaminated by *Cryptosporidium* and *Giardia* (oo)cysts, whereas concentrations of both protozoa in treated wastewater were lower. Treated wastewater, flowed into Seine River, had a parasite concentration closed to the one found along the river, in particular at the entry of a drinking water plant (DWP). Even if faecal bacteria were reliable indicators of a reduction in parasite concentrations during the wastewater treatment, they were not correlated to protozoal contamination of wastewater and river water. Oocysts of *T. gondii* were not found in both raw and treated wastewater, or in Seine River. Parasitic contamination was shown to be constant in the Seine River up to 40 km upstream Paris. Altogether, these results strongly suggest that treated wastewater does not contribute to the main parasitic contamination of the Seine River usually observed in this urbanized area.

### **Occurrence and removal of priority pollutants by lamella clarification and biofiltration**

J. GASPERI, V. ROCHER, S. GILBERT, S. AZIMI, G. CHEBBO

This study investigates the occurrence of all priority substances ( $n = 41$ ) listed in the Water Framework Directive and additional substances ( $n = 47$ ) in raw sewage, as well as the removal performance of lamella clarification and biofiltration techniques. Once the efficiency of both types of techniques has been assessed for typical wastewater parameters, the differences in each technique's ability to remove pollutants becomes obvious; nevertheless, pollutant removal in quantitative terms still depends on the physico-chemical properties of the compounds used and operating conditions within the selected facility. For lamella clarification, the removal of organic chemicals was found to be primarily correlated with their sorption potential and, hence, strongly dependent upon  $\log K_{ow}$  of the compound under study. Compounds with a strong hydrophobic character ( $\log K_{ow} > 4.5$ ) are removed to a significant extent (approx. 85%), while hydrophilic compounds ( $\log K_{ow} < 3.5$ ) are poorly removed (<20%). For biofiltration, the removal of chemicals appears to be compound-dependent, although this outcome involves several mechanisms, namely: i) physical filtration of total suspended solids, ii) volatilisation, iii) sorption, and iv) biotransformation of substances. Even if the complex processes within a biofilter system do not yield an accurate prediction of pollutant removal, two groups of chemicals can still be clearly identified: i) hydrophobic or volatile compounds, for which moderate to high removal rates are observed (from 50% to over 80%); and ii) hydrophilic, non-volatile and refractory compounds for which a low removal rate would be expected (<20%).

### **Occurrence of estrogens in sewage sludge and their fate during plant-scale anaerobic digestion**

M. MULLER, S. COMBALBERT, N. DELGENES, V. BERGHEAUD, V. ROCHER, P. BENOIT, J-P. DELGENES, D. PATUREAU, G. HERNANDEZ-RAQUET

Estrogens, which contribute greatly to the endocrine-disrupting activity in sewage, are partially sorbed onto particulate matter during sewage treatment. We thus investigated the occurrence of estrogens in different kinds of sludge and throughout a plant-scale anaerobic digestion process. The analytical method was first validated when sorption interaction between spiked estrogens and sludge could occur. Hence, the recovery ratio of estrone (E1), 17 $\beta$ -estradiol (E2), estriol (E3) and 17 $\alpha$ -ethinylestradiol (EE2) were determined when added to liquid sludge and mixed under various conditions. We show that minor non-extractable residues were formed (5-10%), suggesting that the sorption interaction established with sludge did not limit estrogen extraction. Estrogen concentrations measured in collected samples varied with sludge type. Secondary sludge showed higher E1 contents than primary sludge: respectively, 43 and 8 ng g<sup>-1</sup> dry weight (dw). Two pathways of E1 production during secondary treatment are proposed to explain such a result. Higher estrogen concentrations were found in secondary sludge from a conventional plant (55 ng g<sup>-1</sup> dw) compared to those from an advanced plant (13 ng g<sup>-1</sup> dw). Based on estimated estrogen concentrations in sewage, we conclude that operating parameters play a role in the sorption of estrogens during secondary treatment. Also, the hydrophobic properties of the estrogens influenced the individual adsorption of each molecule. Thus, E3 showed the highest estimated concentrations in sewage but very low concentrations in sludge. Finally, plant-scale anaerobic digestion showed low efficiency (<40%) for removing estrogens and, regarding the final dewatering process, concentrations increased for E2 and EE2.

## **Publiée en 2009**

### **Priority pollutants in surface waters and settleable particles within a densely urbanised area: Case study of Paris (France)**

J. GASPERI, S. GARNAUD, V. ROCHER, R. MOILLERON

Implementation of the European Water Framework Directive 2000/60/EC (WFD) requires Member States to expand their collective knowledge of priority pollutants (PPs) within receiving waters. To achieve this objective, information on the occurrence of PPs in surface waters and, more specifically, within densely urbanised areas needs to be collected. This study has therefore been designed to provide information on both PP occurrence and concentration build-up along a heavily urbanised transect of the Seine River in the Paris region (France). A large range of PPs were observed in settleable particles and, to a lesser extent, in the waters surveyed. In surface waters, a total of 18 PPs, including 15 priority hazardous substances, were indeed detected, yet concentrations rarely exceeded the limit of quantification. In fact, only diuron, DEHP, fluoranthene and para-tert-octylphenol are observed on a frequent basis, with concentrations ranging from <0.01 to 1.0  $\mu\text{g l}^{-1}$ . As regards the Environmental Quality Standards (EQS), 10 substances or groups of substances were found in surface waters to exhibit concentrations above the annual average value, while only the benzo(a)pyrene concentration exceed the maximum allowable level. As for the Canadian Sediment Quality Guidelines, settleable particles collected in the Seine River appear to be heavily contaminated since most samples contain PP levels above the guideline values (18 PPs) and, in many cases, above the probable effect levels (15 PPs), which underscores that the levels of metals, PAHs and PCBs in settleable particles constitute a potential risk to freshwater organisms.

## Publiées en 2008

The Science of the Total Environment – 2008, Volume 407 (1), pages 263-272

### **Priority pollutants in wastewater and combined sewer overflow**

J. GASPERI, S. GARNAUD, V. ROCHER, R. MOILLERON

Implementation of the European Water Framework Directive and its affiliated directives requires Member States to improve their understanding of priority pollutants (PPs) in urban areas and obviously within wastewater systems. As a direct consequence, this study is intended to furnish data on both PP occurrence and the significance of concentrations in wastewater during dry and wet periods within combined sewers. Various sampling sites within the Paris combined sewer network were selected; for each sample, a total of 66 determinants, including metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), pesticides, organotins, volatile organic compounds, chlorobenzenes, phthalates and alkylphenols, were analysed. A broad range of PPs was observed in wastewater during dry as well as wet weather periods. Of the 66 elements investigated, 33 and 40 priority substances could be observed in raw sewage and wet weather effluent, respectively. As expected, a majority of metals were present in all samples, reflecting their ubiquitous nature. For both periods, chlorobenzenes and most of the pesticides always remained below the limit of quantification, while the majority of other organic pollutants assessed were identified within the  $\mu\text{g l}^{-1}$  range. As highlighted by the larger number of substances detected in wet weather samples and the significance of their concentrations, runoff via atmospheric inputs and/or surface leaching was found to induce a wider range of PPs ( $n = 40$ ) and lead to higher concentrations of certain metals, PAHs, pesticides and other individual compounds. The data generated during this survey, which constitutes one of the first studies conducted in Europe to report concentrations for a variety of priority substances in wastewater within combined sewers, may be used in the future to identify PPs of potential significance for dry and wet weather periods and targeted for further investigation.

La Revue des Sciences de l'Eau – 2008, Volume 21 (4), pages 475-485

### **La biofiltration des eaux résiduaires urbaines : retour d'expérience du SIAAP**

V. ROCHER, C. PAFFONI, A. GONÇALVES, S. AZIMI, M. GOUSSAILLES

Depuis plus de 15 ans, la Direction de la Recherche et du Développement du Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) étudie le procédé de biofiltration des eaux résiduaires urbaines. Les différents travaux de recherche et développement, menés à l'échelle industrielle et semi-industrielle (stations d'épuration/prototypes/pilotes) ont permis au SIAAP d'acquérir une réelle expérience sur ce procédé de traitement. L'objectif de cet article de synthèse est d'extraire de ces 15 années de travail des informations clés sur les performances et les limites des biofiltres (charges éliminées et influence des conditions d'exploitation sur l'élimination de la pollution) ainsi que sur les mécanismes de colonisation et d'encrassement des massifs filtrants.

## Publiées en 2007

The Science of the Total Environment – 2007, Volume 375 (1-3), pages 180-203

### **Critical budget of metal sources and pathways in the Seine River basin (1994–2003) for Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn**

D. R. THEVENOT, R. MOILLERON, L. LESTEL, M-C. GROMAIRE, V. ROCHER, P. CAMBIER, P. BONTE, J-L. COLIN, C. DE PONTEVES, M. MEYBECK

River basin metal pollution originates from heavy industries (plating, automobile) and from urban sources (Paris conurbation: 2740 km<sup>2</sup>, 9.47 million inhabitants). The natural sources of metal have been found to be limited due to sedimentary nature of this catchment and to the very low river sediment transport ( $10 \text{ t km}^{-2} \text{ y}^{-1}$ ). Several types of data have been collected to build the metal budget within the whole Seine River basin: field surveys, economical statistics and environmental models. Environmental contamination and related fluxes have been measured on atmospheric fallout, rural streams particles, and Seine River particles upstream and downstream of Paris and at river mouth. Metal pathways and budgets have been set up for (i) a typical cultivated area, (ii) a Paris combined sewer system, (iii) Paris conurbation and (iv) the whole catchment metal retention effect in floodplain and dredged material. Metal fluxes to the estuary have been decomposed into natural, urban domestic and other sources. The latter are within 1–2 orders of magnitude larger than waste water fluxes directly released into rivers according to an industrial census. These fluxes have been further compared to the annual use (1994–2003) of these metals. Metal excess fluxes exported by the river are now a marginal leak of metal inputs to the catchment (*i.e.* "raw" metals, metals in goods, atmospheric fallout), generally from 0.2 to 5%. However, due to the very limited dilution power in this basin, the contamination of particles is still relatively high. The Seine River basin is gradually storing metals, mostly in manufactured products used in construction, but also in various waste dumps, industrial soils, agricultural and flood plain soils.

Polycyclic Aromatic Compounds – 2007, Volume 27 (2), pages 123-141

### **Review on the hydrocarbon fate within combined sewers: case of the "Le Marais" urban catchment (1994-2005)**

J. GASPERI, V. ROCHER, R. MOILLERON, G. CHEBBO

An experimental catchment area was set up by the CEREVERE (Water, City, Environment and Education Research Centre) in the center of Paris, in order to obtain an accurate description of the urban pollutants within combined sewers. Several investigations were carried out between 1994 and 2005 in order to evaluate the aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbon loads entering combined sewers, as well as the pollutant fluxes conveyed by dry and wet weather flows at catchment outlets. Until now, such results have only been considered independently but neither a comparison between imported and exported hydrocarbon loads nor an assessment of the contributions of different sources (*e.g.*, runoff, dry weather flow and deposit re-suspension within the sewer) to wet weather pollutant loads, have been established. This paper is designed to address these points. The assessment of hydrocarbon loads during dry weather periods underlined a predominant contribution of domestic inputs to the hydrocarbon loads. During wet weather periods, the evaluation of hydrocarbon loads revealed the important role played by in-sewer sediment erosion as a source of wet weather hydrocarbon loads, which contribution ranged from 48 to 55% of the exported loads.

## Publiée en 2006

Urban Water – 2006, Volume 3 (4), pages 225-233

### **Contribution of domestic effluents to hydrocarbon levels of dry weather flow in combined sewers**

J. GASPERI, V. ROCHER, S. AZIMI, S. GARNAUD, G. VARRAULT, R. MOILLERON, G. CHEBBO

The importance of hydrocarbon contamination of the sewer network has been reported by many authors recently. Most of the studies are focused on the introduction of such pollutants into combined sewers by street and roof stormwater, but few evaluate the contribution of domestic inputs to hydrocarbon pollution. As a consequence, this work—carried out on the framework of the OPUR (Observatory of Urban Pollutants) research program—assesses the resolved aliphatic (AH), unresolved complex mixture (UCM) and polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) concentrations of domestic effluents (DE) and evaluates the role played by such effluents on the hydrocarbon levels of dry weather flow (DWF) in combined sewers. Results show hydrocarbon concentrations in the 200–300  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , 300–1000  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  and 0.9–1.4  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  ranges for AHs, UCM and the 16 PAHs of the US-EPA, respectively. The assessment of hydrocarbon fluxes conveyed by domestic effluents on the scale of the “Le Marais” experimental urban catchment (42 ha, centre of Paris) reveals the predominant contribution of domestic inputs to the DWF pollution and highlights the unsuspected role of households.

## Publiées en 2005

Chemosphere – 2005, Volume 61 (5), pages 645-651

### **Decrease of atmospheric deposition of heavy metals in an urban area from 1994 to 2002 (Paris, France)**

S. AZIMI, V. ROCHER, S. GARNAUD, G. VARRAULT, D. R. THEVENOT

Total atmospheric deposition, *i.e.* both wet and dry ones, was sampled during three different sampling periods between 1994 and 2002. The aim of this study is to determine the temporal variation of the atmospheric deposition fluxes of four heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) in an urban area (Paris region, France). The global pattern shows a decrease of the fluxes for most of elements during this period. Indeed, the atmospheric deposition fluxes measured in 2001–2002 were lower than those measured during the 1994–1997 period by factors reaching 16, 2.5, 4 and 7.5 at Créteil and 7, 1, 6 and 4.5 at Chatou for Cd, Cu, Pb and Zn, respectively. At the Paris site, the decreasing factors were 2.5 and 3 for Cd and Pb, respectively while Cu and Zn fluxes were nearly similar during the whole studied period.

Water Science and Technology – 2005, Volume 52 (3), pages 119-127

### **Hydrocarbons and heavy metals fixed to the lift station sediment of the Paris combined sewer network**

J. GASPERI, V. ROCHER, T. CELAUDON, R. MOILLERON, G. CHEBBO

This work aims to characterise the pollutant loads fixed to the Lift Station (LS) sediments. Firstly, levels of n-alkanes, PAH and heavy metals (Fe, Zn, Cu, Pb and Cd) of LS sediments were assessed, and were found of the same order of magnitude as those reported for street runoff. In addition, investigations on LS sediment reveal that n-alkane distributions reflect the combination of biogenic and petrogenic inputs, while PAH distributions indicate a major pyrolytic origin with traces of petrogenic contaminations. The metallic fingerprints also attest to the important contribution of road traffic emissions. Secondly, a comparison between LS sediment and the Gross Bed Sediment (GBS) pollutant contamination was established in order to optimize the in-sewer deposits management. For hydrocarbons, a similar contamination between both sediments is found. For the heavy

metals, this comparison indicates a similar Fe and Zn content, while Pb, Cu and Cd contents differ. Indeed, LS sediment shows a higher Cu content, linked to the occurrence of intensive brake lining abrasion, compared with GBS, which reflects a higher Pb and Cd content, owing to the contribution of roof runoff. This result reveals the impact of specific inputs such as road traffic or roof runoff on the in-sewer sediments contamination, and provides a complete overview of the LS sediment contamination. This database could be used by the municipality to optimize their contaminated in-sewer sediment management.

The Science of the Total Environment – 2005, Volume 337 (1-3), pages 223-239

### **Sources, distribution and variability of hydrocarbons and metals in atmospheric deposition of an urban area (Paris, France)**

S. AZIMI, V. ROCHER, M. MULLER, R. MOILLERON, D. R. THEVENOT

Total atmospheric deposition, *i.e.*, both wet and dry deposition, was sampled during 11 months in the “Île-de-France” region, France. Monthly fluxes of aliphatic hydrocarbons (AHs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heavy metals (HMs) were studied at three representative sites (two urbanised and one semiurban). A combination of spatial and temporal variability of total fluxes and pollutant fingerprints allows a better understanding of atmospheric pollutant dynamics over this region. In the whole studied area, aggregated total atmospheric fluxes of AHs, PAHs and HMs range from 19 to 33  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ , 99 to 161  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$  and 48 to 103  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ , respectively. The highest values are observed in Paris centre, reflecting the importance of the urban centre as a source of pollutants, with a decline in many atmospheric deposits when moving away from urban areas. The seasonal distribution of these pollutants suggests the impact of residential heating on urban atmospheric deposition of hydrocarbons and the increase of dust loads containing HMs during summer. The qualitative study performed on atmospheric deposition data highlights the main sources of pollutants. Aliphatic fingerprints suggest a marked contribution of biogenic inputs to aliphatic contamination in the whole Île-de-France region and slight petroleum inputs in urban areas. Aromatic fingerprints, characterised by the great predominance of phenanthrene, fluoranthene and pyrene, associated with some specific ratio values, suggest the mixture of petrogenic and pyrolytic contaminations of atmospheric deposition in the whole “Île-de-France” region. HM distribution shows the presence of anthropogenic sources of Al and Fe in this area and the stationary sources (incinerators and plants) as a significant source of Si, S and Sb in the urban atmosphere. Moreover, a pollutant mix phenomenon, occurring in such an urban atmosphere, shows a significant influence on atmospheric deposition at the semiurban site.

Polycyclic Aromatic Compounds – 2005, Volume 25 (2), pages 169-181

### **Hydrocarbon loads from street cleaning practices: comparison with dry and wet weather flows in a Parisian combined sewer system**

J. GASPERI, V. ROCHER, R. MOILLERON, G. CHEBBO

So far, little attention has been given to the effect of the street cleaning waters (SCW) load on the sewer systems during dry-weather periods. However, the knowledge of this pollution is needed to better understand the contribution of SCW to dry weather flow (DWF) pollution within combined sewers. Therefore, hydrocarbon loads conveyed by SCW were analyzed for two different sites of the Paris agglomeration. Median n-alkane, Unresolved Complex Mixture (UCM) and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) concentrations have been estimated at 19, 628 and 1.4  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  for the Marais catchment (or 4th district), and at 8, 249, and 2.1  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  for the 13th district, respectively. The observed contamination was mainly attributed to road traffic. Moreover, a comparison between SCW and street runoff showed that street cleaning removes a higher PAH stock than street runoff. In addition, SCW hydrocarbon fluxes evaluated at 5.4, 178 and 0.4  $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$  for n-alkanes, UCM and PAH, respectively, were compared to the hydrocarbon fluxes of the DWF pollutant load at the combined sewer outlet of the Marais catchment. Hydrocarbon loads conveyed by SCW into Paris combined sewers appeared to be a minor source of DWF pollution for n-alkane and UCM, but represented a significant source for PAHs.



## Publiées en 2004

Water, Air, and Soil Pollution – 2004, Volume 159 (1-4), pages 67-86

### **Hydrocarbons and metals in atmospheric deposition and roof runoff in central Paris**

V. ROCHER, S. AZIMI, J. GASPERI, L. BEUVIN, M. MULLER, R. MOILLERON, G. CHEBBO

Hydrocarbons (aliphatic and aromatic) and metals (heavy metals and major elements) were measured in both atmospheric deposition and roof runoff in central Paris (France). Atmospheric deposition (wet and dry) was collected from December 2001 to October 2002 and roof runoff was sampled on three buildings with different covering materials, *i.e.*, slate tiles and zinc sheets. This paper gives an overview of the results on the flux and distribution points of view for both atmospheric deposition and roof runoff. Results show that atmospheric fluxes of hydrocarbon sandma-jorelements increase during cold seasons, due to residential heating occurrence, while heavy metals, whose major sources have constant mission fluxes, exhibit steady atmospheric loads throughout the year. Moreover, hydrocarbon fingerprints reveal mainly biogenic and pyrolytic origins for aliphatic and aromatic hydrocarbons, respectively. The results about roof runoff contamination suggest that the scavenging processes for hydrocarbons and metals are dependent on rainfall amount rather than on the rain event characteristics (number, intensity, duration), and dry deposition weakly contributes to the pollutant loads in roof runoff. Results also highlight that both metallic and slate roofs do not act as a source of hydrocarbons and major elements—exclusively originating from atmospheric deposition—while they act as a source of some heavy metals. Zinc-covered roofs largely release Zn and Ti, while slate roofs mainly release Pb, Ti and Cu. Whatever the material used for roof covering, roof runoff presents high Ni and V loads due to the vicinity of the chimney stacks of heating boilers.

The Science of the Total Environment – 2004, Volume 323 (1-3), pages 107-122

### **Hydrocarbons and heavy metals in the different sewer deposits in the “Le Marais” catchment (Paris, France): stocks, distributions and origins**

V. ROCHER, S. AZIMI, R. MOILLERON, G. CHEBBO

The knowledge of the pollution stored in combined sewers is of prime importance in terms of management of wet weather flow pollution since sewer deposits play a significant role as source of pollution in combined sewer overflows. This work, which focused on the hydrocarbon (aliphatic and aromatic hydrocarbons) and metallic (Fe, Zn, Pb, Cu and Cd) pollution fixed to the different kinds of sewer deposits (gross bed sediment [GBS], organic layer [OL] and biofilm), was performed in order to provide a complete overview of the contaminant storage in the 'Le Marais' combined sewer (Central Paris, France). Firstly, our results have shown that, for all kinds of pollutants, a major part was stored in the GBS (87 to 98%), a lesser part in the OL (2 to 13%) and an insignificant part in the biofilm (<1%). These results demonstrated that the potential contribution of biofilm to wet weather pollution was negligible compared to the OL one. Secondly, the investigation of hydrocarbon fingerprints in each deposit has provided relevant information about contamination origins: (1) aliphatic hydrocarbon distributions were indicative of petroleum input in the GBS and reflected a mixture of biogenic and petroleum inputs in the OL and biofilm, (2) aromatic hydrocarbon distributions suggested an important pyrolytic contamination in all the deposits. Finally, the study of pollutant fingerprints in the different deposits and in the suspended solids going through the collector has shown that: (1) the suspended solids were the major component of OL and biofilm while urban runoff seemed to be the main transport mechanism introducing pollutants in the GBS and (2) the residence times in sewer of OL and biofilm were quite short compared to those for GBS.

Chemosphere – 2004, Volume 54 (7), pages 795-804

### **Hydrocarbon pollution fixed to combined sewer sediment: a case study in Paris**

V. ROCHER, S. GARNAUD, R. MOILLERON, G. CHEBBO

Over a period of two years (2000–2001), sediment samples were extracted from 40 silt traps (STs) spread through the combined sewer system of Paris. All sediment samples were analysed for physico-chemical parameters (pH, organic matter content, grain size distribution), with total hydrocarbons (THs) and 16 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) selected from the priority list of the US-EPA. The two main objectives of the study were (1) to determine the hydrocarbon contamination levels in the sediments of the Paris combined sewer system and (2) to investigate the PAH fingerprints in order to assess their spatial variability and to elucidate the PAH origins. The results show that there is some important inter-site and intra-site variations in hydrocarbon contents. Despite this variability, TH and PAH contamination levels (50th percentile) in the Parisian sewer sediment are estimated at 530 and 18  $\mu\text{g g}^{-1}$ , respectively. The investigation of the aromatic compound distributions in all of the 40 STs has underlined that there is, at the Paris sewer system scale, a homogeneous PAH background pollution. Moreover, the study of the PAH fingerprints, using specific ratios, suggests the predominance of a pyrolytic origin for those PAHs fixed to the sewer sediment.

## Publiée en 2003

Water Science and Technology – 2003, Volume 47 (4), pages 35-43

### **Biofilm in combined sewer: wet weather pollution source and/or dry weather pollution indicator?**

V. ROCHER, S. AZIMI, R. MOILLERON, G. CHEBBO

In a sewer trunk, three kinds of deposit, acting as potential wet weather sources, can be found: the biofilm, the organic layer and the gross bed sediment. This research program, on the “Le Marais” catchment (Paris, France), focused on the biofilm. The objectives were to describe, using a Transmission Electronic Microscope, the architecture of the sewer biofilm and to investigate the contents and the distributions of aliphatic and aromatic hydrocarbons in biofilm. The electron micrographs illustrated a uniform film of bacteria totally covering the surface of a thick organic matrix. A large cohesion of the cell layer and organic matrix complex, due to exopolysaccharides, was noticed. Hence, the hydrocarbon contents were measured not only in the biofilm itself, but in this complex. Our results showed that almost all hydrocarbons were stored in the gross bed sediment and the organic layer and, consequently, the biofilm was not an important potential source of wet weather pollution. Comparison between the hydrocarbon distributions in the biofilm and in the other deposits indicated that the biofilm could be used as an indicator of the aliphatic hydrocarbon pollution in the organic layer.

3.

---

## Ouvrages collectifs

## Publiés en 2021

---

IWA Publishing

### **Effectiveness of disinfecting wastewater treatment plant discharges: case of chemical disinfection using performic acid**

OUVRAGE SCIENTIFIQUE COORDONNÉ PAR VINCENT ROCHER ET SAM AZIMI (DIRECTION INNOVATION - SIAAP)

Coordonné par la Direction Innovation du SIAAP et impliquant plus de 20 chercheurs, cet ouvrage scientifique sur la désinfection des rejets des usines d'épuration par l'utilisation des peracides est publié aux éditions de l'International Water Association Publishing.

En accès libre, cet ouvrage propose une synthèse des résultats obtenus dans le cadre du projet de recherche mené entre 2017 et 2019. Sont présentés les résultats des expérimentations menées dans les laboratoires des équipes impliquées dans le projet, l'analyse des performances atteintes lors des essais industriels conduits sur l'usine de Seine Valenton (SIAAP-Val-de-Marne) et des retours d'expérience d'autres collectivités ayant déployé cette technologie (Villes de Biarritz et de Venise).

## Publiés en 2020

---

SPRINGER – The Handbook of Environmental Chemistry – PIREN-Seine

### **Chapter 1 – Ecological Functioning of the Seine River: From Long-Term Modelling Approaches to High-Frequency Data Analysis**

J. GARNIER, A. MARESCAUX, S. GUILLON, L. VILMIN, V. ROCHER, G. BILLEN, V. THIEU, M. SILVESTRE, P. PASSY, M. RAIMONET, A. GROLEAU, S. THERY, G. TALLEC, N. FLIPO

At the start of the PIREN-Seine program, organic pollution by the effluent of the Parisian conurbation was responsible for episodic anoxia in the lower Seine River, while nutrients from both point and diffuse sources are used to cause eutrophication, a nuisance for drinking water production from surface water and biodiversity. The implementation of the EU Water Framework Directive led to a drastic decrease of organic carbon, phosphorus and ammonium concentrations in surface waters starting in the early 2000s and to a reduction of the frequency and the amplitude of phytoplankton blooms. However, nitrate contamination from fertiliser intensive agriculture continued to increase or at best levelled off, threatening groundwater resources and causing unbalanced nutrient ratios at the coastal zone where eutrophication still results in harmful algal blooms. High-frequency O<sub>2</sub> data combined with models, which have been developed for 30 years, can help discriminate the contribution of auto- vs. heterotrophic metabolism in the CO<sub>2</sub> supersaturation observed in the Seine River. Despite the impressive improvement in water quality of the Seine River, episodic crises such as summer low-flow conditions still threaten the good ecological status of both river and coastal waters. Modelling scenarios, including further wastewater treatments and structural changes in agriculture and future changes in hydrology under climate changes, provide the basis for a future vision of the ecological functioning of the Seine River network.

### **Chapter 3 – Contaminants of Emerging Concern in the Seine River Basin: Overview of Recent Research**

P. LABADIE, S. ALLIGANT, T. BERTHE, H. BUDZINSKI, A. BIGOT-CLIVOT, F. COLLARD, R. DRIS, J. GASPERI, E. GUIGON, F. PETIT, V. ROCHER, B. TASSIN, R. TRAMOY, R. TREILLES

For over 30 years, the sources and the transfer dynamics of micropollutants have been investigated in the PIREN-Seine programme. Recent works included a wide range of chemicals and biological contaminants of emerging concern (*i.e.* contaminants whose occurrence, fate and impact are scarcely documented). This chapter presents a brief overview of research recently conducted on contaminants as diverse as macro- and microplastics, poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs), pathogenic protozoa, antibiotics and the associated antibiotic resistance. The multiscale study of plastics and PFASs at a large spatial scale is rare; the results produced in recent years on the Seine River catchment have provided an original contribution to the investigation of the dynamics of these contaminants in urban environments. The results also highlighted that pathogenic protozoa are ubiquitous in the Seine River basin and that the contamination of bivalves such as *Dreissena polymorpha* could reflect the ambient biological contamination of watercourses. The widespread occurrence of antibiotics in the Seine River was demonstrated, and it was shown that the resistome of biofilms in highly urbanised rivers constitutes a microenvironment where genetic support for antibiotic resistance (clinical integrons) and resistance genes for trace metals are concentrated.

### **Chapter 4 – Mass Balance of PAHs at the Scale of the Seine River Basin**

D. GATEUILLE, J. GASPERI, C. BRIAND, E. GUIGON, F. ALLIOT, M. BLANCHARD, M.-J. TEIL, M. CHEVREUIL, V. ROCHER, S. AZIMI, D. THEVENOT, R. MOILLERON, J.-M. BRIGNON, M. MEYBECK, J.-M. MOUCHEL

The Seine River basin (France) is representative of the large urbanised catchments (78,650 km<sup>2</sup>) located in Northwestern Europe. As such, it is highly impacted by anthropogenic activities and their associated emissions of pollutants such as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). These compounds, originating from household heating and road traffic, are responsible for serious environmental issues across the basin. This study aims at establishing and using mass balance analyses of PAHs at the Seine River basin scale as an efficient tool for understanding PAH pathways in the environment. A dual-scale approach (urban vs rural areas) was used successfully, and mass balances provided useful knowledge on the environmental fate of PAHs. In urban areas, runoff and domestic and industrial discharges contributed similarly to the PAH supply to the sewer system. During the wastewater treatment process, PAHs were mainly eliminated through sludge removal. At the basin scale, substantial amounts of PAHs were quantified in soils, and the limited annual inputs and outputs through atmospheric deposition and soil erosion, respectively, suggest that these compounds have long residence times within the basin. While wastewater and runoff discharges from urban areas account for a substantial part of PAH urban fluxes to the Seine River, soil erosion seems to be the predominant contributor at the basin scale. Overall, the PAH flux at the basin outlet was greater than supplies, suggesting that the Seine River system may currently be undergoing a decontamination phase.

### **Chapter 5 – Aquatic Organic Matter in the Seine Basin: Sources, Spatio-Temporal Variability, Impact of Urban Discharges and Influence on Micro-pollutant Speciation**

G. VARRAULT, E. PARLANTI, Z. MATAR, J. GARNIER, P. T. NGUYEN, S. DERENNE, V. ROCHER, B. MURESAN, Y. LOUIS, C. SOARES-PEREIRA, A. GOFFIN, M. F. BENEDETTI, A. BRESSY, A. GELABERT, Y. GUO, AND M.-A. CORDIER

This research has been conducted over the last 10 years to characterise the spatio-temporal variability of aquatic organic matter (OM) composition in the Seine River watershed upstream and downstream of Paris Megacity and its effect on micro-pollutants. For this purpose, a large number of samples were collected under different hydrological conditions, and, over 1 year, three representative sites were monitored monthly. Furthermore, the evolution of the OM composition along an urbanisation gradient, from upstream to downstream of the Paris agglomeration, was characterised, highlighting the very strong impact of urban discharges, especially during low-water periods. Substantial differences in the chemical composition are emphasised relative to the urban or natural origin of the organic matter. Dissolved organic matter (DOM) interactions with metallic and organic micropollutants were studied, allowing us to (1) identify the key role of DOM on their speciation and bioavailability in aquatic systems and (2) demonstrate that these interactions depend on DOM composition and origin. The essential role of urban DOM on the speciation of trace metals in the Seine River downstream of the Paris agglomeration is also shown.

### **Chapter 12 – Bathing Activities and Microbiological River Water Quality in the Paris Area: A Long-Term Perspective**

J.-M. MOUCHEL, F. S. LUCAS, L. MOULIN, S. WURTZER, A. EUZEN, J.-P. HAGHE, V. ROCHER, S. AZIMI, P. SERVAIS

This chapter presents the historical aspects regarding swimming in rivers in the Paris region since the seventeenth century, including the concept of fecal contamination indicator bacteria (FIBs) developed at the very beginning of the twentieth century, and historical contamination data covering more than one century in the Paris agglomeration. The sources of microbiological contamination of river waters are quantified, showing the importance of rain events. The present contamination levels are presented with reference to the European Directive for bathing water quality. FIB levels show that the sufficient quality for bathing is not reached yet in any of the monitored stations. A comprehensive data set regarding waterborne pathogens (viruses, *Giardia*, *Cryptosporidium*) in the Seine and Marne rivers is presented as a necessary complement to the regulatory FIB data to better evaluate health risks. The last section concludes on the actions to be conducted to improve the rivers' microbiological quality in the coming years.

ASTEE

### **Innovater dans les pratiques de monitoring et d'exploitation des STEP – Enseignements scientifiques et techniques tirés de la phase I du programme Mocopée (2014-2017)**

OUVRAGE COLLECTIF PAR LE CONSORTIUM MOCOPÉE ET LES MEMBRES DE L'ASTEE

Ces trente dernières années, la recherche prolifique menée en génie des procédés a permis d'accompagner l'évolution des outils industriels de transport et de traitement des eaux de la plupart des grandes agglomérations. L'effort d'innovation doit aujourd'hui être porté sur les pratiques d'exploitation et de maintenance des systèmes industriels. Les fruits de la R&D doivent notamment permettre d'accroître la maîtrise et le niveau d'optimisation des filières de traitement, de progresser sur les questions relatives au vieillissement des ouvrages et d'accompagner le changement de rôle de la station d'épuration, aujourd'hui pôle de dépollution, demain pôle de transformation de matière. Pour répondre à ces grands enjeux, le SIAAP, l'INRAE et l'UTC se sont rapprochés pour construire le programme Mocopée. Né en 2014, Mocopée se veut être un espace de travail et d'échange pérenne entre scientifiques et acteurs opérationnels exerçant dans le domaine du traitement des eaux urbaines. Ce programme de recherche appliquée rassemble aujourd'hui une trentaine d'équipes de recherche, une dizaine d'entreprises innovantes et interagit avec quatre associations partenaires. L'Astee, conformément aux engagements qu'elle a pris en 2014 de mettre en place les moyens pour rendre accessibles les résultats de la recherche financée par des fonds publics et ceux de la recherche action et de promouvoir la diffusion des connaissances scientifiques et techniques, accompagne, à travers sa section territoriale Ile-de-France, ce consortium depuis la création du programme.

La première phase de ce programme (2014-2017) s'est donnée comme objectif de faire évoluer les pratiques d'exploitation et de proposer des outils de suivi et de pilotage innovants (capteurs, méthodes de caractérisation des matrices, modèles d'aide à la décision), dans le but d'accroître le niveau d'optimisation des stations d'épuration. Cette phase a conduit à des avancées significatives dans trois champs principaux : (1) la métrologie appliquée au suivi des matrices eau/boue dans les stations d'épuration, (2) la compréhension des mécanismes d'apparition, le suivi et le contrôle des espèces intermédiaires du cycle de l'azote (protoxyde d'azote, nitrite) et (3) la modélisation des procédés de traitement.

Cet ouvrage technique intitulé « Innovater dans les pratiques de monitoring et d'exploitation des stations d'épuration » présente l'initiative Mocopée, notamment à travers le regard de grands acteurs du monde de l'eau, synthétise les principaux résultats scientifiques et techniques obtenus lors de la phase I du programme et présente les grandes orientations de la prochaine phase du programme.

UNESCO – IWRA – K-Water

### **Integrated Smart Water Management of Sanitation System in the Greater Paris Region**

J-P. TABUCHI, B. BLANCHET, V. ROCHER

The greatest challenge that the sanitation system of the greater Paris region had to face in the final decades of the twentieth century was the quality recovery of the Seine and Marne rivers. The pollution of the receiving water was caused by a lack of treatment capacity and technical performance as well as by combined sewer overflows during rain events.

After decades of investments, huge improvements in the water quality of receiving waters were obtained and the objectives of the European Water Framework Directive (WFD) are close to being achieved thanks to the development of wastewater treatment plants and a sewage transport system. At the same time Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP), the public utility in charge of the transport and treatment of wastewater for the Greater Paris region, has also invested in a real-time control following a 1997 sanitation masterplan study that recommended the implementation of real-time control for better control of stormwater pollution caused by combined sewer overflows, allowing a reduced need for storage facilities. Building upon existing systems and the experience acquired since the mid-1980s at SIAAP as well as each of the its constitutive départements: Paris, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis and Val-de-Marne, this real-time control system called MAGES (Modèle d'Aide à la Gestion des Emissaires du SIAAP) began operation in 2008. The new system (as described in section 3.2) integrates all the data from

each department system, and is powered by a hydraulic deterministic model fed in real-time by 2000 sensors. It provides flow forecasts for a trend scenario in each part of SIAAP's networks and at each treatment plant on different time scales depending on the weather conditions. This trend scenario is used by the operators to adjust the management of the system.

This smart system takes advantage of the capacity within the coverage area to transfer sewage from one wastewater treatment plant (WWTP) to another. Such transfers enhance system wide security in case of shutdown due to any reason such as planned works or incidents. MAGES has been the driver of several changes in the way to see and operate the sanitation system. First, each operating site has the knowledge in real-time of what has happened elsewhere on the sanitation system, resulting in a shared and global view of the system. At the same time, the SIAAP department that operates MAGES has a global overview of the hydraulic running condition of the whole system. Ten years after the commissioning of MAGES, it is still difficult to assess its benefits in terms of savings either on investment or operation costs. Nonetheless, smart management is here to stay. Projected constraints on the operation of Paris's regional sanitation system from tighter regulations, population growth and effects of climate change on the Seine hydrology are impelling SIAAP to develop smarter tools aimed at reducing pollutant loads discharged into the rivers without entailing excessive costs.

This case study details the development of a real-time control system (MAGES) in the Paris region designed to better control stormwater pollution caused by combined sewer overflows and to optimize the need for additional storage or treatment facilities. The case study is structured to outline the challenges facing the Greater Paris region water and sanitation networks, and the solutions provided by SIAAP, the public utility in charge of the treatment and transport of wastewater, over the past 20 years. After a brief overview of the geographical characteristics of the region of concern, it introduces SIAAP and the challenges facing it in ensuring improved quality of the Seine. This is followed by a description of the evolution and features of the MAGES system, links to the Sustainable Development Goals, and challenges and opportunities that lie ahead.

Agence Française pour la Biodiversité – Arceau-IdF

### **Que sait-on des micropolluants dans les eaux urbaines ?**

AESN, ARCEAU-IDF, CSTB, CLUSTER EMS, CD92, CD93, CD94; DRIEE; GRAIE, ISA-CNRS, LEHNA, CNRS-UCBL; DEEP-INSA-LYON; LEESU-UPEC; LEE-IFSTTAR-NANTES; SIAAP, VILLE DE PARIS, LABORATOIRE WATCHFROG

Cet ouvrage synthétise les connaissances scientifiques récentes sur les micropolluants dans les agglomérations urbaines. Il a pour ambition d'apporter des éléments de réponse aux interrogations opérationnelles des acteurs du domaine de l'eau et de l'assainissement et de favoriser ainsi une prise de conscience et des actions pour une meilleure gestion des micropolluants.

Il s'appuie essentiellement sur les travaux des trois observatoires français en hydrologie urbaine (OPUR à Paris, OTHU à Lyon et ONEVU à Nantes), structurés autour de partenariats durables entre chercheurs et acteurs opérationnels. Depuis une vingtaine d'années, ces observatoires produisent des données et des connaissances sur les sources et les transferts des micropolluants et sur l'efficacité des différentes stratégies de gestion des eaux urbaines. Élaboré au sein du groupe « Micropolluants » de l'association Arceau-IdF avec le soutien et le financement de l'Agence française pour la biodiversité, cet ouvrage représente une étape importante dans le transfert des connaissances entre les chercheurs et les opérationnels. Il constitue un premier outil pour l'animation et la construction d'actions en faveur de la protection de l'environnement.

Éditions Johanet

### Évolution de la qualité de la Seine en lien avec les progrès de l'assainissement – De 1970 à 2015

COORDINATEURS DE L'OUVRAGE COLLECTIF : V. ROCHER, S. AZIMI

C. PAFFONI, O. ROUSSELOT, J-P TABUCHI, J. BERNIER, S. GUERIN-RECHDAOUI, R. MAILLER, S. PICHON, A. GONCALVES, C. MARCEL, J. GASPERI, W. THOMAS

Au début du 19<sup>e</sup> siècle, l'assainissement de la Ville de Paris est rudimentaire. Les égouts étant très peu nombreux, ce sont principalement les bras de la Seine qui assurent l'évacuation des eaux insalubres. Cet assainissement balbutiant combiné à une forte croissance démographique engendre une dégradation de la qualité sanitaire des eaux. Les maladies hydriques se propagent alors au sein de Paris. Face à cette situation, la Ville de Paris favorisera d'abord l'évacuation des eaux sales vers la Seine avant de privilégier leur épandage sur les terres agricoles ; cette solution préservant la qualité de la Seine tout en apportant de la matière organique aux sols.

Au début du 20<sup>e</sup> siècle, l'objectif du « tout-à-l'égout, rien au fleuve, tout à la terre » est atteint pour la Ville de Paris. Cependant, la solution apportée par l'épandage ne permet pas de faire face à l'augmentation des volumes d'eaux usées générés par la ville et, durant la première partie du 20<sup>e</sup> siècle, la qualité de la Seine se détériore. Des méthodes alternatives aux champs d'épandage sont recherchées. Les traitements centralisés, utilisant les biomasses épuratrices d'ores et déjà étudiées en Angleterre, se dessinent alors comme la solution à mettre en œuvre à l'échelle parisienne. Dès 1940, la première installation permettant le traitement biologique des eaux sera mise en eau sur le site d'Achères (Yvelines, 78). Mais c'est la construction, entre 1954 et 1972, de grands émissaires capables de transporter des volumes importants d'eaux usées jusqu'à la station d'épuration d'Achères qui marquera le passage vers l'ère du traitement centralisé. Cependant, en 1970, la situation n'est pas encore satisfaisante. Plus de la moitié des eaux usées produites par l'agglomération parisienne est déversée sans traitement dans la Seine. La qualité du fleuve est plus que médiocre, notamment en aval de l'agglomération parisienne où le niveau d'oxygénation est extrêmement faible.

Plus de quarante années seront nécessaires, de 1970 à aujourd'hui, pour changer radicalement le visage de l'assainissement francilien. Cette mutation du système d'assainissement francilien va s'opérer en trois grandes étapes. Entre 1970 et 1980 aura lieu une véritable montée en puissance du traitement industriel, principalement avec l'augmentation forte de la capacité de traitement de la station d'Achères. La période 1980-1990 est, quant à elle, considérée comme une période charnière dans l'assainissement parisien. Cette décennie permettra de poursuivre l'augmentation de la capacité de traitement globale, par la construction d'autres stations d'épuration, mais surtout de préparer, par une recherche expérimentale active, la mutation des stations d'épuration. Cette mutation qui s'opérera en plus de 25 ans, de 1990 à aujourd'hui, consistera à améliorer la qualité du traitement réalisé sur les usines d'épuration, en passant d'un traitement unique de la pollution carbonée à un traitement complet du carbone, de l'azote et du phosphore, et en privilégiant le déploiement de traitement par culture fixée (biofiltres) dans une recherche de compacité des installations. Cette évolution de l'outil industriel a conduit à une réduction spectaculaire des flux de polluants introduits dans la Seine.

Cette réduction des flux a permis la restauration de la qualité physico-chimique de la Seine et l'amélioration de sa qualité microbiologique (Rocher et Azimi, 2016). Aujourd'hui, le niveau d'oxygénation du fleuve est élevé et les concentrations en nutriments azotés et phosphorés beaucoup plus faibles. Le retour d'une importante diversité piscicole dans la rivière constitue d'ailleurs le meilleur témoin de la restauration de la qualité de la Seine ; 32 espèces différentes de poissons sont recensées aujourd'hui dans la Seine francilienne contre 3 en 1970 (Azimi et Rocher, 2016). Cet ouvrage vise à mettre en lumière le lien entre les grandes étapes de l'assainissement parisien et l'évolution de la qualité de la Seine, fleuve récepteur de la plupart des eaux traitées en agglomération parisienne. Il s'agit de s'appuyer sur quelques indicateurs clés, tels que les concentrations en oxygène dissous, en carbone organique, en azote, en phosphore ou en bactéries indicatrices de contamination fécale, pour montrer l'amélioration de la qualité de la Seine induite par la mutation de l'assainissement conduite ces 40 dernières années.

Éditions Johanet

### Qualité microbiologique des eaux en agglomération parisienne – Des eaux usées aux eaux de surface

COORDINATEURS DE L'OUVRAGE COLLECTIF : V. ROCHER, S. AZIMI

J. BERNIER, S. GUERIN-RECHDAOUI, R. MAILLER, S. PICHON, A. GONCALVES, O. ROUSSELOT, J-M. MOUCHEL, F. LUCAS

Le Service Public de l'Assainissement Francilien (SIAAP) est en charge du transport et du traitement des eaux usées produites par près de 9 millions de Franciliens pour leurs usages domestiques et industriels. Couvrant un territoire de 1 800 km<sup>2</sup>, le SIAAP traite chaque jour près de 2,5 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées par temps sec. Une fois dépolluée, l'eau est rejetée dans la Seine et la Marne. Le SIAAP exploite le premier outil industriel de France pour l'assainissement : 440 km de canalisations, plus de 900 000 m<sup>3</sup> de capacité de stockage des eaux pluviales et 6 usines de dépollution permettant un traitement complet des eaux usées (carbone, azote et phosphore). Cet outil industriel performant est le résultat de vagues de construction et de modernisation engagées depuis 1970 qui ont permis à l'assainissement francilien d'opérer une véritable mutation. En quelques décennies, la qualité du traitement s'est considérablement améliorée, en passant d'un traitement unique de la matière organique à un traitement complet de la pollution. Ces technologies intensives permettent aujourd'hui de redonner au milieu naturel une eau propre compatible avec l'atteinte des objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau et propice au développement de la biodiversité. Ainsi, et à titre d'illustration, 32 espèces de poissons sont recensées dans la Seine aujourd'hui contre 3 en 1970 (Azimi et Rocher, 2016). Le déploiement du traitement industriel des eaux usées, mené entre 1970 et aujourd'hui pour améliorer la qualité physico-chimique des eaux de surface a également eu un impact très positif sur la qualité bactériologique de la Seine. En particulier, les 15 dernières années (2000-2015), durant lesquelles des efforts ont été consentis pour généraliser le traitement de l'azote et du phosphore sur les usines et limiter les rejets urbains de temps de pluie, ont permis de limiter significativement les flux de micro-organismes introduits dans le milieu naturel.

Cette réduction notable a conduit à une amélioration significative de la qualité bactériologique des eaux de Seine. Cette amélioration de la qualité sanitaire des eaux de Seine conduit aujourd'hui à se poser la question de l'autorisation de la baignade sur certains secteurs, notamment dans le cas de l'organisation d'événements sportifs. À ce jour, la réglementation relative à la baignade (arrêté du 22 septembre 2008) porte sur deux bactéries indicatrices de contamination fécale : *Escherichia coli* (seuil fixé à 900 NPP / 100 ml, calcul du 90<sup>e</sup> percentile) et entérocoques intestinaux (seuil fixé à 330 NPP / 100 ml, calcul du 90<sup>e</sup> percentile). L'objectif de ce document est d'apporter les éléments de connaissance et de compréhension sur le transfert de la contamination fécale en milieu urbain (*Escherichia coli* et entérocoques intestinaux). Basé sur 15 années d'études R&D menées par le SIAAP, via sa Direction Innovation, ce document synthétise les connaissances acquises sur la dynamique de transfert des bactéries indicatrices fécales dans le continuum « réseau d'assainissement – stations d'épuration – rivières », en se focalisant sur le cas de l'agglomération parisienne.



